



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT  
PENAMBAHAN PEMBANGKIT DAN REKONFIGURASI  
JARINGAN DI *JOINT OPERATION BODY PERTAMINA-  
PETROCHINA EAST JAVA (JOB P-PEJ)*, TUBAN**

**Achmad Marzuki Yahya  
NRP 2212 106 062**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, M.T.  
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 091399**

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT PENAMBAHAN  
PEMBANGKIT DAN REKONFIGURASI JARINGAN DI *JOINT  
OPERATION BODY PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA (JOB  
P-PEJ)*, TUBAN**

Achmad Marzuki Yahya  
NRP 2212 106 062

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 091399**

**EVALUATION OF PROTECTION COORDINATION DUE TO PLANT  
ADDITION AND NETWORK RECONFIGURATION AT JOINT OPERATION  
BODY PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA (JOB P-PEJ), TUBAN**

Achmad Marzuki Yahya  
NRP 2212 106 062

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015



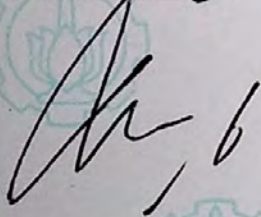
**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT  
PENAMBAHAN PEMBANGKIT DAN  
REKONFIGURASI JARINGAN DI *JOINT*  
*OPERATION BODY PERTAMINA-PETROCHINA*  
*EAST JAVA (JOB P-PEJ), TUBAN***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

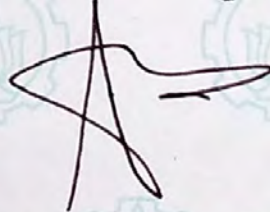
**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**



**Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT.**  
**NIP. 196603181990101001**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Siamsjul Anam, M.T.**  
**NIP. 196307251990031002**





## ABSTRAK

Nama : Achmad Marzuki Yahya  
NRP : 2212106062  
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

### **Evaluasi Koordinasi Proteksi Akibat Penambahan Pembangkit dan Rekonfigurasi Jaringan di Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java**

Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java adalah sebuah kerjasama dua perusahaan besar berskala internasional yang sedang melakukan eksplorasi di Indonesia. Untuk meningkatkan produksi pada Central Processing Area (CPA) ditambahkan dua pembangkit dengan daya 4X600HP, 4.16kV. Dengan penambahan beban dan pembangkit muncul permasalahan pada sistem kelistrikannya, yaitu sering terjadi padam total (*blackout*) pada saat terjadi gangguan, sehingga kontinuitas daya terganggu. Melalui tugas akhir ini dilaksanakan evaluasi koordinasi proteksi pada Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java yang tepat dalam mendeteksi dan mengisolir gangguan sehingga tidak mengganggu sistem yang berjalan dan mencegah kerusakan peralatan listrik.

Dari hasil plot koordinasi kurva arus waktu kondisi *existing* dapat diketahui bahwa terdapat *misscoordination* dan *overlapping*. Melalui hasil analisis dan perhitungan manual direkomendasikan penyetelan *pick up* rele arus lebih dan penyetelan *grading time* rele. Rele yang perlu disetel ulang adalah rele arus lebih gangguan fasa (*overcurrent relay*) dan rele arus lebih gangguan tanah (*ground fault relay*). *Setting* rele dengan penambahan pengaman pada rele 88. Dengan memakai konfigurasi stand alone harus ditambahkan trafo sebesar 4 MVA pada sisi outgoing generator centaur 2 sehingga dapat digunakan data Load Flow & Short Circuit.

**Kata Kunci** : Gangguan, koordinasi proteksi, rele arus lebih gangguan fasa

# **EVALUATION OF PROTECTION COORDINATION DUE TO PLANT ADDITION AND NETWORK RECONFIGURATION AT JOINT OPERATION BODY PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA (JOB P-PEJ), TUBAN**

**Name : Achmad Marzuki Yahya**  
**Advisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.**  
**Ir. Sjamsjul Anam, M.T.**

## **ABSTRACT**

Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java is a collaboration of two international companies that are conducting exploration in Indonesia. To increase production at Central Processing Area, two power plants with 4x600 HP, 4.16 kV, respectively are needed. The addition of load and generators emerging some problems in the electrical system, such blackout so that the power continuity is interrupted. This final project discuss about evaluation of protection coordination at JOB P-PEJ to detect and isolate the interference so the electrical equipments are prevented from damage.

From result of a current curve coordination plot at existing condition, there are misscoordination and overlapping. By analytical result and manual calculation, setting of pick up relay and grading time relay are recommended. Relay that need to be reset is interference phase overcurrent relay (overcurrent relay) and relay overcurrent ground fault (ground fault relay). Set the relay by adding more protection at relay 88. By using stand alone configuration, the addition of 4 MVA transformator on the outgoing side of the centaur generator 2 can be used with Load Flow and Short Circuit.

**Keywords:** interference, coordination of protection, overcurrent relay phase disorder.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang atas rahmat-Nya maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

### **“EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT PENAMBAHAN PEMBANGKIT DAN REKONFIGURASI JARINGAN DI JOINT OPERATION BODY PERTAMINA- PETROCHINA EAST JAVA (JOB P-PEJ), TUBAN”**

Tugas akhir ini merupakan karya tulis ilmiah yang menjadi persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Kedua orang tua atas limpahan doa, kasih sayang dan teladan hidup bagi penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Bapak Ir. Samsul Anam, MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Seluruh rekan Power System LJ-2012 Genap atas kebersamaannya selama ini.
4. Mas Wahyu dan Mas Radit yang banyak memberikan saran atas tugas akhir ini.
5. Nancy Ardelina yang banyak membantu dan memberi dukungan.

Harapan penulis adalah semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis serta pembaca. Sadar atas keterbatasan yang dimiliki oleh penulis, maka penulis meminta maaf serta mengharap kritik dan saran yang membangun.

Surabaya, Desember 2015

Penulis

# DAFTAR ISI

	halaman
<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....</b>	<b>iii</b>
<b>Halaman Pengesahan .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstrak .....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>ix</b>
<b>Kata Pengantar.....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xxi</b>
<b>Bab IPendahuluan.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Batasan Masalah .....	1
1.4 Tujuan dan Manfaat .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>Bab IIKoordinasi Proteksi Sistem Tenaga Listrik .....</b>	<b>7</b>
2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.2 Penyebab Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik .....	8
2.2.1 Gangguan Beban Lebih.....	9
2.3.2 Gangguan Hubung Singkat.....	9
2.3.3 Gangguan Tegangan Lebih.....	12
2.3 Analisis Hubung Singkat .....	12
2.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	12
2.4.1 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah.....	13
2.4.2 Hubung Singkat Antar Fasa .....	14
2.4.3 Hubung Singkat Fasa ke Netral.....	14
2.4.4 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.....	14
2.5 Proteksi Sistem Tenaga Listrik .....	14
2.6 Rele Pengaman.....	15
2.7 Rele Arus Lebih .....	16
2.7.1 Penyetelan Rele Arus Lebih.....	16
2.7.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ...	16
2.7.3 Karakteristik Rele Arus Lebih .....	18
2.7.3.1 Waktu Tertentu (Definite Time) .....	18



2.7.3.2 Inverse Waktu (Time Inverse).....	19
2.7.3.3 Inverse Definite Minimum Time (IDMT).....	20
2.7.3.4 Rele Arus Lebih Waktu Instan .....	21
2.8 Koordinasi Rele Arus dan Waktu .....	23
2.9 Rele Gangguan Tanah (Ground Fault Relay).....	24
<b>Bab III Sistem Kelistrikan <i>Joint Operating Body</i> Pertamina – <i>Petrochina East Java (JOB P-PEJ), Tuban</i> .....</b>	<b>25</b>
3.1 Sistem Kelistrikan <i>Joint Operating Body</i> Pertamina – <i>Petrochina East Java (JOB P-PEJ), Tuban</i> .....	25
3.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik <i>Joint Operating Body</i> <i>Pertamina – Petrochina East Java (JOB P-PEJ), Tuban</i> .....	26
3.3 Beban Pada Sistem Kelistrikan <i>Joint Operating Body</i> <i>Pertamina – Petrochina East Java (JOB P-PEJ), Tuban</i> .....	27
<b>Bab IV Simulasi dan Analisis .....</b>	<b>31</b>
4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan <i>JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)</i> .....	31
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada <i>JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)</i> .....	31
4.3 Analisis Arus Hubung Singkat.....	33
4.3.1 Hubung Singkat Maksimum .....	33
4.3.2 Hubung Singkat Minimum.....	34
4.3.3 Hubung Singkat Gangguan Satu Fasa ke Tanah	35
4.4 Koordinasi Sistem Pengaman.....	35
4.4.1 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1 ....	36
4.4.2 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2 ....	40
4.4.3 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3 ....	42
4.4.4 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4a ..	46
4.4.5 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4b ..	48
4.4.6 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 5 ....	50
4.5 Simulasi Koordinasi Proteksi Pada Kondisi Resetting.....	55
4.5.1 Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 1 .....	55
4.5.2 Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 2 .....	58
4.5.3 Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 3 .....	63

4.5.4 Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 4a .....	69
4.5.5 Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 4b .....	74
4.5.6 Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi <i>Resetting</i> Tipikal 5 .....	76
<b>Bab V Penutup .....</b>	<b>79</b>
5.1 Kesimpulan .....	79
5.2 Saran .....	80
<b>Daftar Pustaka.....</b>	<b>81</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>83</b>
<b>Biodata Penulis .....</b>	<b>95</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Flowchart</i> Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir .....	4
Gambar 2.1	Gelombang Arus Hubung Singkat .....	13
Gambar 2.2	Skema Konsep Kerja Rele Pengaman.....	15
Gambar 2.3	Batas ketelitian <i>Setting</i> arus berdasarkan BS 142-198317	
Gambar 2.4	Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu ( <i>definite time</i> ) .....	18
Gambar 2.5	karakteristik <i>standart inverse, very inverse dan extremely invers</i> . .....	19
Gambar 2.6	Karakteristik waktu IDMT Rele .....	21
Gambar 2.7	Karakteristik rele arus lebih instan .....	22
Gambar 2.8	Kombinasi IDMT dengan arus lebih waktu instan .....	22
Gambar 2.9	Arus lebih pengaman trafo .....	23
Gambar 2.10	(a) Rangkaian <i>zero sequence current filte</i> . (b) Hubung singkat satu fasa ke tanah.....	24
Gambar 3.1	<i>Single Line</i> Diagram pada Sistem Kelistrikan JOB P-PEJ Tuban .....	26
Gambar 4.1a	Sistem Kelistrikan JOB P-PEJ CPA .....	31
Gambar 4.1b	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 1.....	36
Gambar 4.2	Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1 .....	38
Gambar 4.3	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1 .....	39
Gambar 4.4	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 2.....	40
Gambar 4.5	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2 .....	42
Gambar 4.6	Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 3.....	43
Gambar 4.7	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3 .....	46
Gambar 4.8	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 4a .....	47
Gambar 4.9	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4a.....	48
Gambar 4.10	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 4b.....	49
Gambar 4.11	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4b .....	51
Gambar 4.12	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 5 .....	52
Gambar 4.13	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 5 .....	54
Gambar 4.14	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 1 .....	58



Gambar 4.15	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 2 .....	63
Gambar 4.16	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 3 .....	69
Gambar 4.17	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 4a .....	73
Gambar 4.18	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 4b .....	75
Gambar 4.19	<i>Resetting</i> JOB P-PEJ Tipikal 5 .....	76
Gambar 4.20	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 5 .....	78

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung singkat..	10
<b>Tabel 2.2</b> Koefisien invers <i>time dial</i> .....	11
<b>Tabel 2.2</b> Koefisien invers <i>time dial</i> .....	20
<b>Tabel 3.1</b> Data Generator pada JOB P-PEJ, Tuban .....	25
<b>Tabel 3.2</b> Data Trafomator pada JOB P-PEJ, Tuban .....	26
<b>Tabel 3.3</b> Data beban MCC pada JOB P-PEJ, Tuban .....	27
<b>Tabel 3.4</b> Data kemampuan Switchgear pada JOB P-PEJ, Tuban.	29
<b>Tabel 4.1</b> Data hubung singkat maksimum 4 <i>cycle</i> .....	33
<b>Tabel 4.2</b> Data hubung singkat minimum 30 <i>cycle</i> .....	34
<b>Tabel 4.3</b> Data Eksisting Pengaman Tipikal 1.....	36
<b>Tabel 4.4</b> Data Eksisting Pengaman Tipikal 2.....	41
<b>Tabel 4.5</b> Data Eksisting Pengaman Tipikal 3.....	44
<b>Tabel 4.6</b> Data Eksisting Pengaman Tipikal 4a.....	47
<b>Tabel 4.7</b> Data Eksisting Pengaman Tipikal 4b.....	50
<b>Tabel 4.8</b> Data Eksisting Pengaman Tipikal 5.....	53

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Pada tanggal 29 Pebruari 1988, Production Sharing Contract untuk pengelolaan lapangan blok Tuban telah diserahkan oleh pemerintah kepada Petromerten, Medco Energi dan PT Pertamina. Ketiga perusahaan tersebut membentuk unit kerja bersama yang dinamakan Joint Operation Body. Pada saat ini blok Tuban dioperasikan hanya oleh PT Pertamina dan Petrochina, sehingga menjadi Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java. JOB Pertamina-Petrochina East Java telah berhasil memproduksi minyak dan gas (MIGAS) dari tiga kabupaten, yaitu Kabupaten Bojonegoro, Tuban dan Gresik. MIGAS dari Bojonegoro dan Tuban dialirkan melalui perpipaan menuju Central Processing Area untuk dipisahkan dari gas dan air, sehingga menjadi layak untuk dijual.

Dengan dibangunnya pembangkit pada perusahaan maka di perlukan proteksi pada masing-masing pembangkit. PT.Petrochina adalah sebuah perusahaan besar berskala internasional yang sedang melakukan eksplorasi di Indonesia. Salah satu pusat eksplorasi terdapat di daerah tuban, Jawa Timur. Untuk meningkatkan produksi pada Central Processing Area (CPA) ditambahkan pembangkit dan dapat di lakukan penambahan beban dan rekonfigurasi jaringan.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah Sistem kelistrikan Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java dan koordinasi rele pengaman arus lebih *existing* apakah sudah tepat dan memenuhi standar. . Masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana sistem kelistrikan pada Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java Tuban, akibat integrasi dengan jaringan ?
2. Berapa perhitungan aliran beban dan respon sistem saat terjadi gangguan hubung singkat dan arus lebih ?
3. Bagamana setelan dan koordinasi pengaman yang baru terhadap kondisi eksisting ?



### 1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis membatasi permasalahan yang dibahas adalah analisis aliran daya pada sistem kelistrikan Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java, kemudian melakukan analisis hubung singkat gangguan fasa dan gangguan hubung singkat ketanah sehingga dapat ditentukan setelan rele dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa dan rele arus lebih gangguan tanah. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi ETAP 7.5.

### 1.4 Tujuan dan Manfaat

Tugas akhir ini memiliki tujuan mensimulasikan dan menganalisis sistem kelistrikan Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java untuk mengetahui setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih kondisi *existing*, kemudian dilakukan *resetting* dan koordinasi rele pengaman arus lebih yang tepat pada sistem kelistrikan Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java.

Hasil yang diharapkan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah dapat memberikan manfaat, yaitu menjadi referensi dan rekomendasi untuk melakukan perbaikan bagi Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java khususnya setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih dan juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya tentang koordinasi rele pengaman arus lebih.

### 1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Pengumpulan data dan studi literatur

Hal yang dilakukan pertama kali adalah pengumpulan data dan studi literatur untuk menambah pemahaman mengenai permasalahan yang dihadapi. Data yang diperlukan adalah *rating* generator, trafo, kabel, motor, kapasitas busbar dan *single line diagram* JOINT OPERATION BODY (JOB) PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA. Literatur yang digunakan berupa beberapa buku, jurna ilmiah, serta *user manual* peralatan.

#### 2. Pemodelan dan simulasi

Penulis melakukan pemodelan dengan menggunakan *software* simulasi ETAP 7.5. Dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan *single line diagram* pada *software* simulasi. Selanjutnya dilakukan

simulasi aliran daya dan hubung singkat. Tujuan dilakukan pemodelan dan simulasi ini agar dapat diketahui besarnya daya yang mengalir ke beban dan arus hubung singkat yang terjadi pada sistem kelistrikan JOINT OPERATION BODY (JOB) PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA.

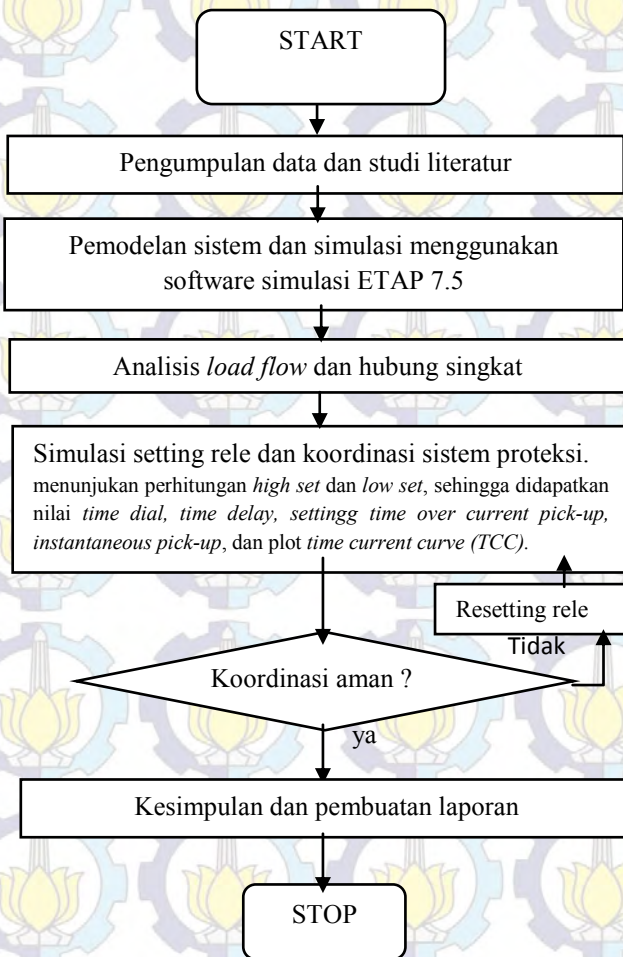
### 3. Analisis

Hasil dari simulasi aliran daya dan hubung singkat digunakan untuk menganalisis setelan dan koordinas rele-rele pengaman arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah yang terpasang pada sistem kelistrikan JOINT OPERATION BODY (JOB) PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA. Analisis ini dilakukan dengan menunjukkan perhitungan *high set* dan *low set*, sehingga didapatkan nilai *time dial*, *time delay*, *setting time over current pick-up*, *instantaneous pick-up*, dan plot *time current curve (TCC)*. Dari hasil analisis ini, akan diketahui apakah setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih yang terpasang sudah tepat atau masih perlu diperbaiki lagi sehingga dilakukan *resetting* rele dan koordinasi rele pengaman yang tepat.

### 4. Kesimpulan

Langkah akhir dari penyusunan tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan. Selain itu juga akan diberikan saran dan rekomendasi tentang penelitian yang telah dilakukan. Alur metodologi penyusunan tugas akhir ini dapat digambarkan dalam *flowchart* pada gambar 1.1.





**Gambar 1.1** *Flow chart* metodologi pengerjaan tugas akhir



## **1.6 Sistematika penulisan**

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB I**

#### **PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi pengerjaan tugas akhir, sistematika pembahasan dan relevansi dari penulis.

### **BAB II**

#### **KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**

Pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

### **BAB III**

#### **SISTEM KELISTRIKAN JOINT OPERATION BODY (JOB) PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA**

Dalam bab ini dijelaskan metode pelaksanaan studi serta penerapannya dalam studi kasus pada sistem tenaga listrik, bagaimana konfigurasinya dan beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik JOINT OPERATION BODY (JOB) PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA

### **BAB IV**

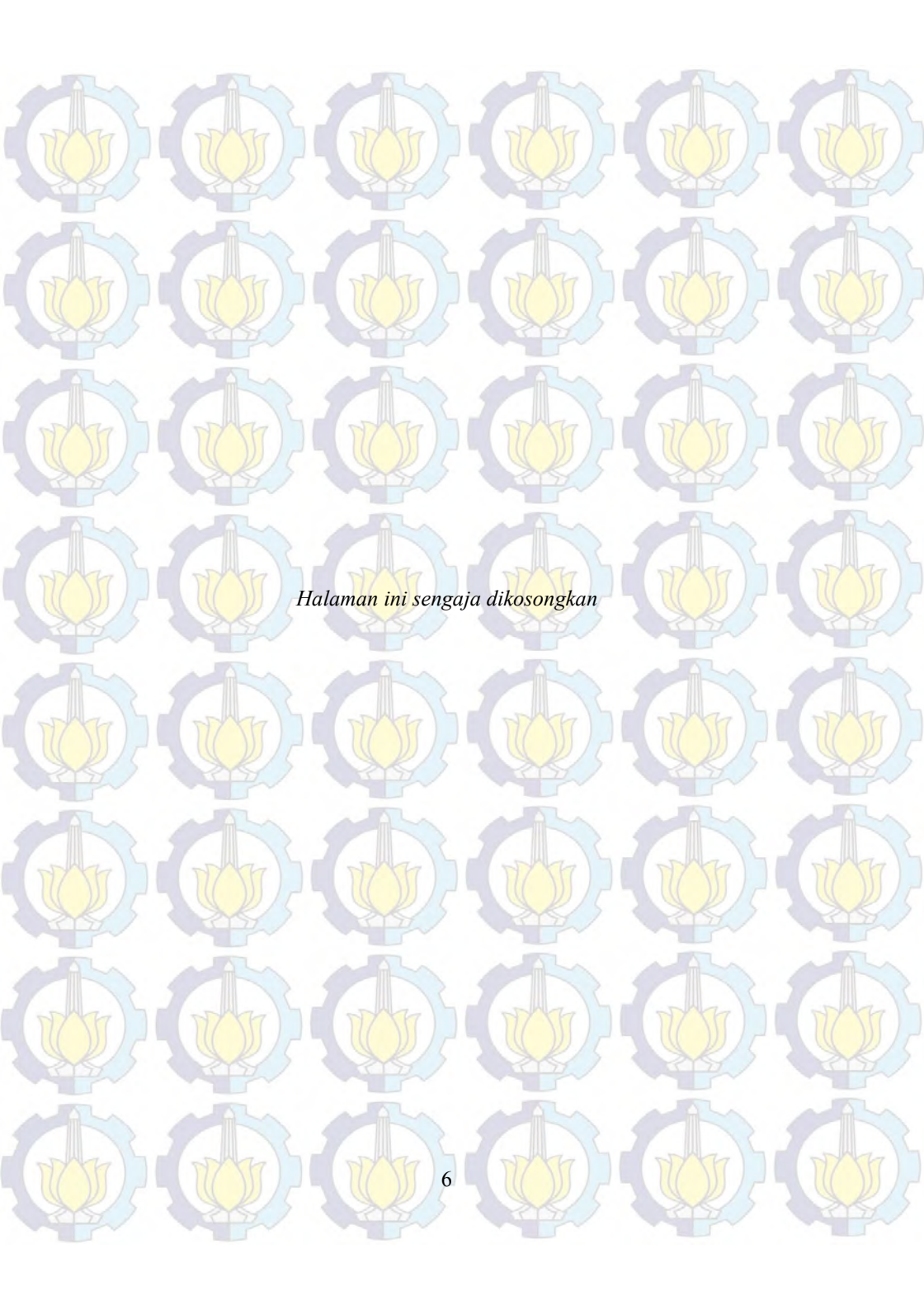
#### **HASIL SIMULASI DAN ANALISIS**

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini akan disajikan analisis terhadap kinerja dan koordinasi rele arus lebih ketika terjadi gangguan, serta beberapa rekomendasi untuk memperbaiki setelan yang sudah ada sehingga menghasilkan koordinasi rele pengaman yang lebih baik.

### **BAB V**

#### **PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB II**

# **KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**

Dalam sistem kelistrikan harus didesain agar rele proteksi dapat beroperasi untuk merasakan dan mengisolasi gangguan secepatnya. Rele proteksi penting dalam industri sistem tenaga karena dapat mencegah kerugian produksi yang besar akibat padamnya peralatan atau kerusakan peralatan yang tidak perlu yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat dan tegangan lebih atau overload. Arus gangguan yang mengalir pada sistem tenaga listrik menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan pemutus tenaga (Circuit Breaker) sehingga terputus aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut.

Koordinasi sistem pengamanan sangat diperlukan dalam mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik, sehingga gangguan-gangguan yang terjadi dapat dilokalisasi dari sistem yang sedang berjalan. Dengan mengaplikasikan prinsip koordinasi, maka urutan kerja peralatan pengamanan sepanjang saluran dari sumber sampai pada beban harus diperhatikan. Apabila ada gangguan secara tiba-tiba peralatan pengamanan tersebut dapat mengisolir daerah gangguan secepat mungkin.

Selain itu juga peralatan proteksi berfungsi untuk melindungi peralatan yang berada disekitarnya terhadap gangguan atau keadaan tidak normal secara tepat dan tepat juga untuk membatasi daerah yang terkena gangguan sehingga keandalan suatu sistem tenaga listrik tetap terjamin.

### **2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik**

Sumber gangguan pada suatu sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan dan arus yang tidak normal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan pada peralatan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat pada isolasi.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain:

1. Gangguan-gangguan yang bersifat mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, bintang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Jenis gangguan (*fault*) pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 kelompok [1]:

1. Gangguan yang bersifat temporer, dimana gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan seketika, baik hilang dengan sendirinya maupun karena kerja alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
2. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu untuk memperbaikinya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara, setelah arus gangguan diputus misalnya karena circuit breaker terbuka oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap untuk beroperasi kembali. Sedangkan untuk gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

Saat terjadi gangguan pada suatu sistem akan mengalir arus yang sangat besar pada menuju ke titik gangguan pada fasa yang terganggu, dimana arus gangguan tersebut memiliki nilai yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga dapat terjadi kenaikan temperatur/panas pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan.

## **2.2 Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik**

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan timbulnya arus berlebih yang mungkin terjadi diantaranya gangguan beban lebih (*overload*), gangguan hubung singkat (*short circuit*), dan gangguan tegangan lebih.



### 2.2.1 Gangguan beban lebih

Timbulnya gangguan ini dikarenakan adanya arus yang mengalir melebihi kapasitas suatu peralatan listrik dan pengamanan yang terpasang. Gangguan beban lebih bukan bersifat gangguan murni, namun apabila dibiarkan dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

### 2.2.2 Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat dapat terjadi satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa, atau tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan hubung singkat simetri, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat asimetri.

Hampir sebagian besar jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan asimetri terjadi akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

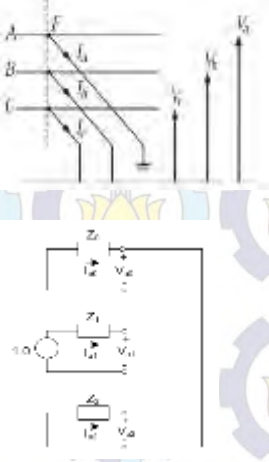
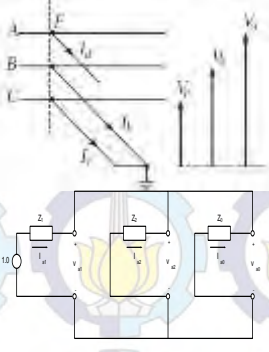
Gangguan asimetri akan menyebabkan arus tidak seimbang mengalir dalam sistem sehingga untuk menganalisis gangguan yang terjadi digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan asimetri akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

Gangguan-gangguan yang timbul karena adanya gangguan hubung singkat antara lain:

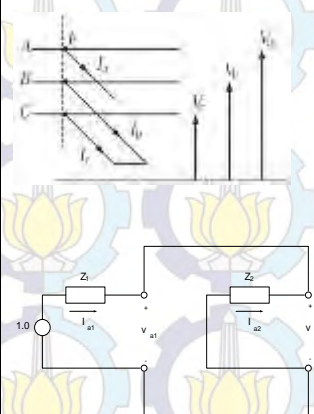
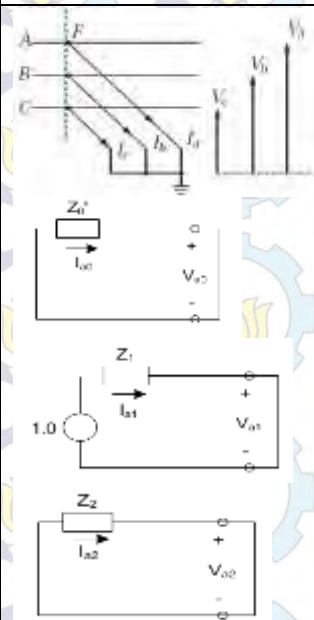
1. Kerusakan pada peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
2. Stabilitas daya pada sistem menurun.
3. Kontinuitas pelayanan listrik ke beban dapat terhenti apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan *circuit breaker* (CB) bekerja sehingga terjadi pemadaman listrik.



**Tabel 2.1** Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung singkat

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
1 fasa ke tanah		$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ $I_{sc} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$
2 fasa ke tanah		$I_a = 0$ $V_b = 0$ $V_c = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)}$

**Tabel 2.1** Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung singkat (lanjutan).

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
Antar fasa		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{sc} = \left  \pm j \frac{\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2} \right $
3 fasa langsung (simetri)		$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$ $I_{sc} = \frac{V_f}{Z_1}$



### 2.2.3 Gangguan Tegangan Lebih

Tegangan lebih merupakan suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena kondisi eksternal dan internal pada sistem berikut ini.

- 1) Kondisi Internal

Hal ini terutama karena isolasi akibat perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian atau karena resonansi.

- 2) Kondisi Eksternal

Sering kali diakibatkan oleh adanya sambaran petir.

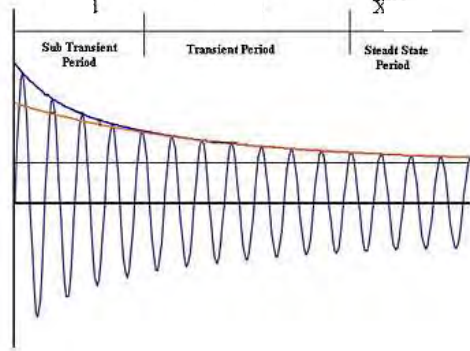
### 2.3 Analisis Hubung Singkat

Dalam analisis hubung singkat, semua perhitungan awalnya dianggap ideal (semua tegangan dianggap 1 pu). Kapasitansi charging dan beban statis tegangan diabaikan. *Transformers tap* dapat ditetapkan pada posisi baik nominal maupun posisi tapnya dan skema berbeda yang tersedia untuk sistem impedansi transformator yang benar dan jika off-nominal tersedia. Diasumsikan bahwa suatu gangguan terjadi terbatas pada bus yang diberi gangguan dan resistansi *short circuit* diabaikan. Sistem diasumsikan seimbang dan metode komponen simetris digunakan untuk gangguan yang tidak seimbang.

### 2.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus yang cukup tinggi akan mengalir dari sumber ke titik gangguan pada saat terjadi saat hubung singkat. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat [2]. Reaktansi pada beberapa *cycle* pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi subtransient atau *subtransient reactance* ( $X''_d$ ). Beberapa *cycle* kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien atau *transient reactance* ( $X'_d$ ) dan akhirnya kondisinya mencapai steady state dan pada saat ini reaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron atau *synchronous reactance* ( $X_d$ ). Reaktansi pada rangkaian yang dialiri arus hubung singkat dapat dilihat pada gambar 2.1.

I(A)



t (s)

**Gambar 2.1** Gelombang arus hubung singkat  $I_{LZ}$

Suatu sistem tenaga listrik apabila terjadi gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung maka akan timbul pengaruh yang tidak diinginkan pada sistem, antara lain :

1. Rusaknya peralatan sistem tenaga listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar, arus-arus tak seimbang atau tegangan-tegangan rendah yang terhubung dengan arus hubung singkat.
2. Kemungkinan terjadinya ledakan pada peralatan-peralatan yang mengandung minyak isolasi saat terjadi gangguan hubung singkat dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan operator atau manusia dan peralatan yang lain.
3. Suatu sistem yang terkena gangguan dapat terpisah dari sistem interkoneksi. Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam suatu sistem distribusi dapat dilakukan sebagai berikut [3]:

#### 2.4.1 Hubung singkat tiga fasa ke tanah

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa ( $I_{sc3}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc3} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.1)$$

Di mana  $V_{LN}$  adalah tegangan nominal *line to netral*, dan  $X_1$  adalah reaktansi urutan positif.



#### 2.4.2 Hubung Singkat Antar Fasa

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa ( $I_{sc2}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc2} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0.86 I_{sc3} \quad (2.2)$$

#### 2.4.3 Hubung singkat fasa ke netral

Hubung singkat ini terjadi antara salah satu fasa dengan netral. Arus hubung singkat fasa ke netral ( $I_{sc1}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc1} = \frac{V_{LL}/\sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_{LN}} \quad (2.3)$$

Dengan  $Z_{LN}$  adalah impedansi netral.

#### 2.4.4 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol ( $Z_0$ ), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa ( $I_{sc0}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (2.4)$$

### 2.5 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Dalam mengatasi bahaya dari berbagai macam gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik, maka diperlukan rele pengaman. Sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menghasilkan dan mengalirkan energi listrik ke konsumen oleh karena itu sistem tersebut haruslah dirancang dengan baik agar kontinuitas terjaga, handal dan ekonomis. Dalam membangun sistem tenaga listrik diperlukan biaya yang banyak karena peralatan yang berbagai macam dan sistem yang rumit. Biaya tersebut diharapkan memiliki sistem pengaman yang baik dan tepat.

Oleh karena itu dalam pengoperasiannya peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi syarat-syarat berikut:

- Selektifitas, yaitu kemampuan rele pengaman mendeteksi dan memerintahkan *circuit breaker* untuk trip dan mengisolasi bagian yang terganggu saja. Untuk mengkoordinasikan rele agar menjadi selektif adalah melakukan perhitungan hubung



singkat dengan cermat dan memperhatikan karakteristik dari rele tersebut.

- Stabilitas, yaitu kemampuan rele pengaman untuk menjaga suplai pada bagian yang tidak mengalami gangguan.
- Sensitifitas, yaitu kemampuan rele pengaman ntuk mendeteksi gangguan yang paling kecil sekalipun dan beroperasi dengan benar sesuai dengan setelannya sebelum gangguan yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan.
- Kecepatan, yaitu kecepatan bereaksi rele pengaman memberi sinyal kepada pemutus tenaga (PMT) agar dapat beroperasi secepat mungkin saat terjadi gangguan sehingga keamanan sistem terjaga. Waktu bereaksi diusahakan sesingkat mungkin sehingga kerusakan yang terjadi semakin kecil, serta dapat mengurangi meluasnya akibat dari adanya gangguan itu sendiri sehingga kestabilan sistem menjadi lebih baik.
- Keandalan, rele dapat dikatakan handal Keandalan dapat dihitung dari jumlah rele yang bekerja untuk mengamankan gangguan berbanding jumlah gangguan yang terjadi. Semakin tinggi keandalan maka sistem tersebut semakin baik dan dapat meminimalkan terjadinya kerusakan akibat gangguan. Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi tentunya tidak lepas dari kualitas peralatan dan cara pemasangannya. Keandalan harus memenuhi beberapa faktor yaitu: *dependable*: peralatan harus trip ketika dibutuhkan, *secure*: tidak boleh trip saat tidak dibutuhkan dan *availability*: perbandingan antara waktu dimana rele pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

## 2.6 Rele Pengaman

Rele merupakan salah satu peralatan sistem tenaga listrik yang digunakan untuk memberinya sinyal kepada pemutus tenaga (PMT) agar dapat memutuskan atau menghubungkan pelayanan penyaluran pada elemen sistem tenaga listrik. Rele dapat memberi sinyal kepada PMT untuk memutuskan suatu saluraan pada sistem tenaga listrik jika terjadi gangguan di titik operasi.



Gambar 2.2 Skema konsep kerja rele pengaman

Pada dasarnya rele pengaman ter diri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak. Elemen operasi menerima masukan dari transformator bantu, yaitu *current trasnformator* (CT) dan *potential transformator* (PT) .

Rele melakukan pengukuran dan perbandingan operasi dasar input dalam bentuk gerakan kontak. Keadaan keluaran dari rele adalah menutup (*close*) dan ditahan (*block*). Jika keadaan tertutup maka rele akan memberikan sinyal untuk melakukan proses pembukaan dari PMT dimana pada gilirannya akan mengisolasi gangguan dari bagian sistem tenaga listrik lain.

## 2.7 Rele arus lebih

Rele arus lebih merupakan salah satu jenis rele yang bekerja berdasarkan besarnya arus masukan dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur ( $I_p$ ) maka rele arus lebih tersebut akan bekerja. Dimana  $I_p$  merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut belitan sekunder *current transformator* (CT). Bila suatu gangguan terjadi didalam daerah perlindungan rele, besarnya arus gangguan  $I_f$  yang juga dinyatakan terhadap belitan sekunder CT. Rele arus lebih bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut[3]:

$I_f > I_p$	rele bekerja	(trip)
$I_f < I_p$	rele tidak berj	(blok)

### 2.7.1 Penyetelan Rele Arus Lebih

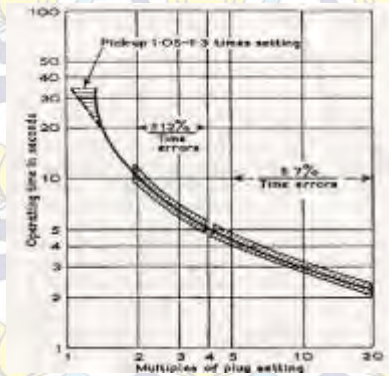
Pada dasarnya rele arus lebih memiliki fungsi sebagi pengaman gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih. Fungsi dari rele arus lebih selain sebagai pengaman utama untuk bagian yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up*) pada bagian berikutnya. Hal ini apabila arus lebih diapaki pada sistem dsitribusi tegangan menengah. Namun pada saluran transmisi tegangan tinggi rele arus lebih berfungsi sebagi *back up*, dimana rele jarak sebagai pengaman utama.

Gangguan yang terjadi pada saluran transmisi adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, maka penyetelannya juga berbeda sehingga akan diuraikan kriteria penyetelannya untuk gangguan fasa dan gangguan tanah secara terpisah.



### 2.7.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Penyetelan arus untuk arus lebih memiliki batasan besarnya arus. Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus *setting* yang ditentukan harus lebih besar dari arus beban maksimum.



**Gambar 2.3** Batas ketelitian *Setting* arus berdasarkan BS 142-1983

Berdasarkan pada gambar 2.3 batas penyetelan harus memperhatikan kesalahan pick up, menurut Standart British BS 142-1983 batas penyetelan antara nominal 1.05 – 1.3  $I_{set}$ . Mengacu pada standart tersebut, pada tugas akhir ini menggunakan konstanta 1.05  $I_{set}$ . Jadi untuk setingnya dapat dilihat sebagai berikut:

$$I_{set} \geq 1,05 \times I_{nominal} \quad (2.5)$$

$$I_s = \frac{I_{set}}{CT \text{ ratio}} \quad (2.6)$$

dimana :

$I_s$  = arus *setting*

Pemilihan tap yang digunakan =  $I_s / I_n$

Seting arus actual  $I_{set} = \text{tap} \times I_n \times CT$

Dicari nilai dibawahnya yang terdekat.

Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum seting , untuk alasan keamanan dan back up hingga ke sisi muara (*downstream*) estimasi seting ditetapkan :

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc2,min} \quad (2.7)$$

$I_{sc2,min}$  adalah arus hubung singkat dua fase dengan pembangkitan minimum yang terjadi diujung saluran seksi berikutnya. Besar arus ini diperoleh dari arus hubung singkat tiga fase pada pembangkitan minimum dikalikan 0,866. Mengacu pada konsep diatas persyaratan setelan arus dapat dirumuskan sebagai berikut :

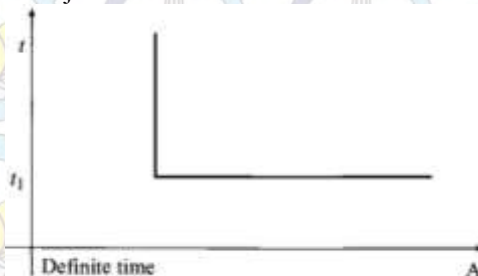
$$1,05 I_{maks} < I_{set} \leq 0,8 I_{sc2,min} \quad (2.8)$$

Penggunaan pada operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber penyetelannya harus dapat bekerja pada waktu yang sesingkat mungkin. Pada jenis rele arus lebih, yang memiliki karakteristik inverse, setelan waktu ditentukan pada saat arus gangguan maksimum.

### 2.7.3 Karakteristik Rele Arus lebih

#### 2.7.3.1 Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Pada penggunaan rele arus lebih waktu tertentu memungkinkan pengaturan waktu operasi yang bervariasi berdasarkan level arus yang berbeda[4]. Sistem rele ini dapat disesuaikan sedemikian rupa sehingga PMT yang paling dekat dengan sumber gangguan akan bekerja (*trip*) lebih cepat daripada yang lain, dan pengaman sisanya akan trip lebih cepat daripada yang lain, dan pengaman sisanya akan *trip* setelah waktu tunda (*time delay*) yang diberikan gangguan masih terus berlanjut. Pada rele arus lebih waktu tertentu, semua level arus yang melebihi *pick-up setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*)[7]. Gambar 2.4 menunjukkan karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.



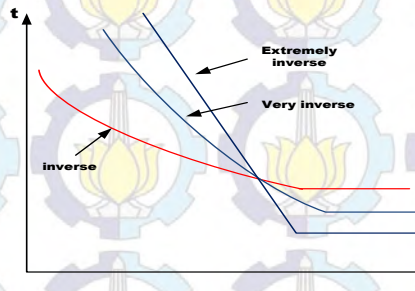
**Gambar 2.4** Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*).



### 2.7.3.2 Inverse Waktu ( *Time Inverse* )

Waktu operasi yang dimiliki rele arus lebih waktu *inverse* berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat dan sebaliknya jika arus gangguan yang muncul kecil maka rele akan beroperasi pada waktu yang lama. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu inverse digambarkan dalam kurva arus-waktu atau disebut juga *time current curve* (TCC). TCC adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, semakin lama waktu operasi dari rele tersebut[4].

Karakteristik *inverse* ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu *inverse* yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standart inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* [5]. Pada IEEE juga diberikan standar lain untuk rele arus lebih waktu invers, yaitu *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse* [6].



**Gambar 2.5** karakteristik *standart inverse*, *very inverse* dan *extremely invers*

Rele arus lebih memiliki setelan *pick up* dan *time dial*. *Pick up* adalah nilai arus minimum agar rele bekerja. Untuk menentukan setelan *pick up* perlu dipertimbangkan besarnya arus nominal yang mengalir. Setelan *pick up* harus lebih besar dari arus nominal yang mengalir, agar rele tidak trip ketika arus yang mengalir mencapai nilai maksimum. Pada rele arus lebih, nilai arus *pick up* ditentukan dengan pemilihan tap. Untuk menentukan besarnya nilai *tap*, maka digunakan persamaan berikut:

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.9)$$

$I_{set}$  adalah besarnya arus pick up dalam ampere. Dalam aplikasi praktis dilapangan. Digunakan setelan 115%-150% dari arus nominal. Namun pemilihan  $I_{set}$  tergantung pada keperluannya, pada motor pick arus lebih diambil 115% dari arus beban penuh, feeder dan trafo diambil iset 120% dari arus beban penuhnya.

Waktu operasi rele ditentukan oleh setelan time dial. Untuk menentukan time dial dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakana persamaan sebagai berikut [7][8]:

$$td = \frac{K \times t}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{\alpha} - 1\right]} \times \frac{1}{\beta} \quad (2.10)$$

Di mana :

- $t$  = waktu operasi (detik)
- $Td$  = *time dial*
- $I$  = nilai arus (Ampere)
- $I_{set}$  = arus *pickup* (Ampere)
- $k$  = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.2)
- $\alpha$  = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.2)
- $\beta$  = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.2)

**Tabel 2.2** Koefisien invers *time dial*

Type Kurva	Koefisien		
	$k$	$\alpha$	$\beta$
<i>Standard / normal Inverse</i>	0,14	0,02	2.97
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1.5
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	13.3

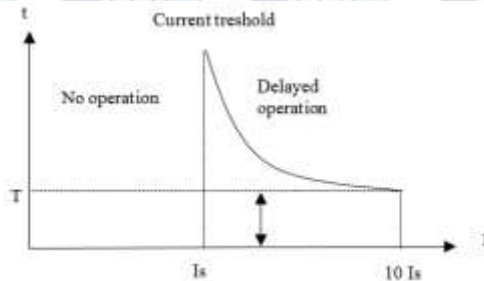
### 2.7.3.3 Inverse Definite Minimum Time (IDMT)

Karakteristik rele ini mempunyai kombinasi antara *inverse* dan *definite time*. Rele bekerja *inverse* jika arus gangguan minimum melebihi *setting* arus setting rele, sedangkan apabila arus gangguan



maksimum rele bekerja pada daerah *definite* maka akan tergantung pada setelan waktunya.

Rele harus mampu bekerja pada kondisi pembangkitan minimum untuk gangguan 2 fasa untuk karakteristik IDMT. Arus setting harus lebih besar dari arus beban penuh. Penyetelannya pun harus memperhatikan kesalahan pick up sesuai dengan british standart pick up =  $1.05 \text{ s/d } 1.3 \text{ Iset}$ . Pada gambar 2.6 dapat kita perhatikan kurvanya.



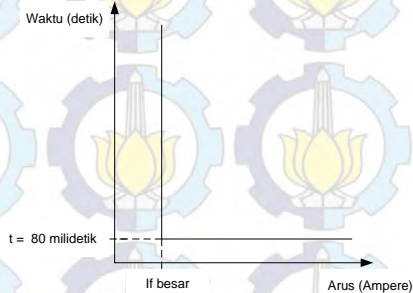
**Gambar 2.6** Karakteristik waktu IDMT Rele

#### 2.7.3.4 Rele Arus Lebih Waktu Instan

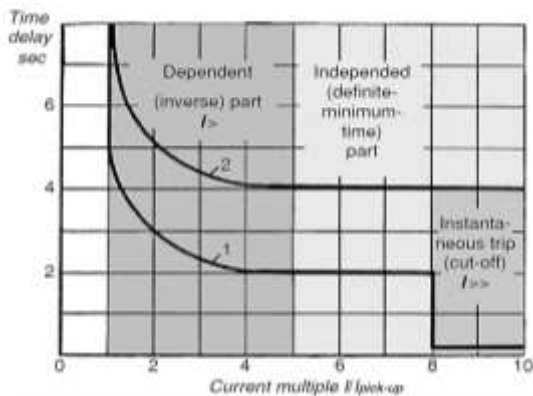
Dalam penerapannya, rele arus lebih waktu inverse dengan karakteristik IDMT kurang efektif dalam mengamankan gangguan. Karena semakin dekat gangguan yang terjadi dengan sumber, maka magnitudo arus yang mengalir akan semakin besar, tetapi waktu memutus terlalu lama. Sedangkan tingkat keamanan sistem proteksi dinilai dari kecepatan sistem proteksi memutus gangguan. Oleh sebab itu, perlu ditambahkan bantuan rele arus lebih instan sehingga menghasilkan sistem proteksi yang lebih baik.

Prinsip kerja jenis rele ini adalah tanpa penundaan waktu, tetapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0.1 detik, pada umumnya kurang dari 0.08 detik, dapat dilihat pada gambar 2.7.

Rele dengan kakateristik ini bekerja sesuai dengan besarnya arus gangguan yang dipilih. Dalam setting koordinasi proteksi pada sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan setting moment/instant. Misalnya pada saat terjadi gangguan hubung singkat, CB terbuka dalam waktu cepat sekali (80 ms), yang berarti gangguan hubung singkat yang muncul gangguan dengan arus yang sangat besar.



**Gambar 2.7** Karakteristik rele arus lebih instan



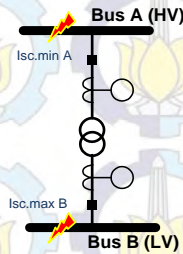
**Gambar 2.8** Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan

Rele arus lebih bekerja secara seketika apabila ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diinginkan. Bekerjanya rele dengan karakteristik ini berdasarkan arus gangguan hubung singkat yang dipilih. Untuk perhitungan setelan *pick up* rele instan, sama dengan perhitungan tap rele arus lebih waktu *inverse*.

Pertimbangan dalam menentukan nilai *pick up* instant adalah berdasarkan karakteristik peralatan yang dilindungi.



Untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah yaitu sisi tegangan rendah (LV) dan sisi tegangan tinggi (HV)[8].



**Gambar 2.9** Rele arus lebih pengaman trafo

Syarat setelan pick up instan pada tipe koordinasi harus memenuhi syarat berikut [7]:

$$I_{sc \max bus B} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min bus, A} \quad (2.11)$$

Dimana  $I_{sc \max bus B}$  merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum di titik B, sedangkan  $0.8 I_{sc \min bus, A}$  merupakan arus hubung singkat minimum pada titik A.

## 2.8 Koordinasi Rele Arus dan Waktu

Susunan rele pengaman dalam suatu sistem kelistrikan terdiri dari rele pengaman utama dan rele pengaman cadangan (*back up*). Antara rele pengaman utama dan rele pengaman *back up* harus dikoordinasikan agar rele tidak bekerja secara bersamaan maka diperlukan waktu tunda (*time delay*). Waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0.2 – 0.35 detik.

Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 cycle)

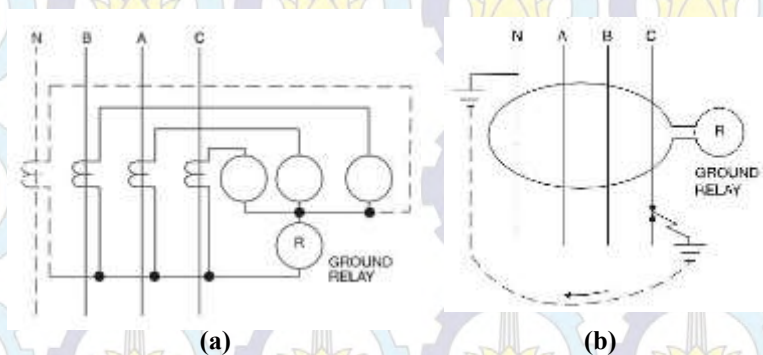
*Overtravel* dari rele : 0.1s

Faktor keamanan : 0.12-0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s.

## 2.9 Rele Gangguan Tanah ( *Ground Fault Relay* )

Rele gangguan tanah merupakan rele pengaman arus lebih yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter*. Rele gangguan tanah bekerja untuk mengamankan gangguan satu fasa dan dua fasa ke tanah. Rele gangguan tanah digunakan pada sistem yang membatasi arus gangguan tanah. Misalnya sistem pentanahan netral dengan pentanahan resistansi dimana impedansi yang rendah mampu mengurangi arus gangguan ke tanah. Pada rele gangguan tanah *range* setelan yang digunakan 20% - 80% dari rating arusnya atau bahkan lebih rendah, 10% - 40% [7], referensi lain menggunakan 10% - 50%.



**Gambar 2.10** (a) Rangkaian *zero sequence current filter*. (b) Hubung singkat satu fasa ke tanah

Prinsip kerja rele gangguan tanah seperti pada gambar 2.10. Pengaman rele ini akan aktif jika arus sisa  $I_{res} = I_a + I_b + I_c$  yang mengalir naik melebihi setelan *threshold*.

Simetri

$$I_r = I_a + I_b + I_c = 0$$

Asimetri

$$I_r = I_a + I_b + I_c = 3I_{a0}$$



### BAB III

## SISTEM KELISTRIKAN *JOINT OPERATING BODY PERTAMINA – PETROCHINA EAST JAVA* (JOB P-PEJ), TUBAN

### 3.1 Sistem Kelistrikan *Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java* (JOB P-PEJ), Tuban.

JOB P-PEJ Tuban memiliki sistem kelistrikan yang di-supply oleh beberapa generator. Selain itu juga diintegrasikan dengan *grid* PLN sebesar 500 MVAsc dan juga generator cadangan 350 kW.

Berikut adalah data daya generator yang digunakan JOB P-PEJ, Tuban :

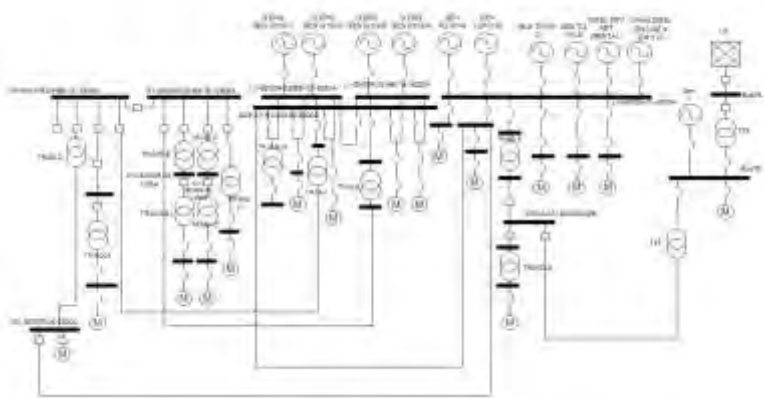
**Tabel 3.1** Data Generator pada JOB P-PEJ, Tuban.

No.	ID Generator	Rating Daya (MW)	Rating Tegangan (kV)
1.	CENT.TRBN BY CTRCTR(RENT)	2.5	4.16
2.	DIESEL.ENG KBT (RENTAL)	0.8	0.48
3.	G.ENG GEN.G102-A	1	0.48
4.	G.ENG GEN.G102-B	1	0.48
5.	G.ENG GEN.G102-C	1	0.48
6.	G.ENG GEN.G102-D	1	0.48
7.	GEN TG101-A	0.8	0.48
8.	GEN TG101-B	0.8	0.48
9.	GEN TG101-C	0.8	0.48
10.	GEN TG101-D	0.8	0.48

Pengintegrasian *supply* dengan *grid* digunakan agar keandalan sistem kelistrikan JOB P-PEJ Tuban semakin baik.

Berikut adalah gambaran sistem kelistrikan JOB P-PEJ Tuban dalam bentuk *single line diagram* :





**Gambar 3.1** *Single Line Diagram* pada Sistem Kelistrikan JOB P-PEJ Tuban.

Untuk selanjutnya *single line diagram* ini digunakan dalam tugas akhir dalam penyelesaian analisa *Koordinasi Proteksi*.

### 3.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik *Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java (JOB P-PEJ)*, Tuban.

Sistem distribusi tenaga listrik di *JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban menggunakan dua buah sistem sumber, yaitu sumber yang berasal dari *Plant Sukowati* dan juga dari *grid PLN*.

Distribusi daya di *JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban dilengkapi dengan adanya transformator daya untuk supply beban dengan rating daya tertentu. Berikut ini adalah data transformator daya yang digunakan dalam kelistrikan *JOB P-PEJ* :

**Tabel 3.2** Data Trafomator pada *JOB P-PEJ*, Tuban

No.	Transformator ID	Rating		
		MVA	Primer (kV)	Sekunder (kV)
1.	T32	0.65	20	0.38
2.	T42	3	0.38	4.16
3.	TR-02-A	5	0.48	4.16

No.	Transformator ID	Rating		
		MVA	Primer (kV)	Sekunder (kV)
4.	TR-02-B	5	0.48	4.16
5.	TR-02-C	4	4.16	4.16
6.	TR-30 KVA	0.38	0.48	4.16
7.	TR-MCC5	2.5	4.16	0.48
8.	TR-MD-A	5	4.16	0.48
9.	TR-MD-B	5	4.16	13.8
10.	TR-MD-B1	5	13.6	0.48
11.	TR-MD-C	5	4.16	13.8
12.	TR-MD-C1	1.25	13.8	0.48
13.	TR-MD E	5	0.48	4.16
14.	TR-INTEGRASI	5	0.48	4.16

### 3.3 Beban Pada Sistem Kelitrikan *Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java (JOB P-PEJ)*, Tuban.

Beban kelistrikan *JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban terdiri beberapa beban berikut :

- Motor  
Digunakan sebagai penggerak peralatan operasi. Terdiri dari 36 motor induksi dengan tegangan 0,48 kV. Beban motor ini dikelompokkan ke dalam *MCC (Motor Control Center)*.
- Lumped Load  
Digunakan untuk kegiatan operasional di *JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban.

Berikut adalah data beban – beban motor yang terdapat pada *JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban :

**Tabel 3.3** Data beban MCC pada *JOB P-PEJ*, Tuban

No.	INSTRUMENT	ID	Daya (kW)
1.	MOTOR MCC 4-1	RADIATOR FAN 4-1	30



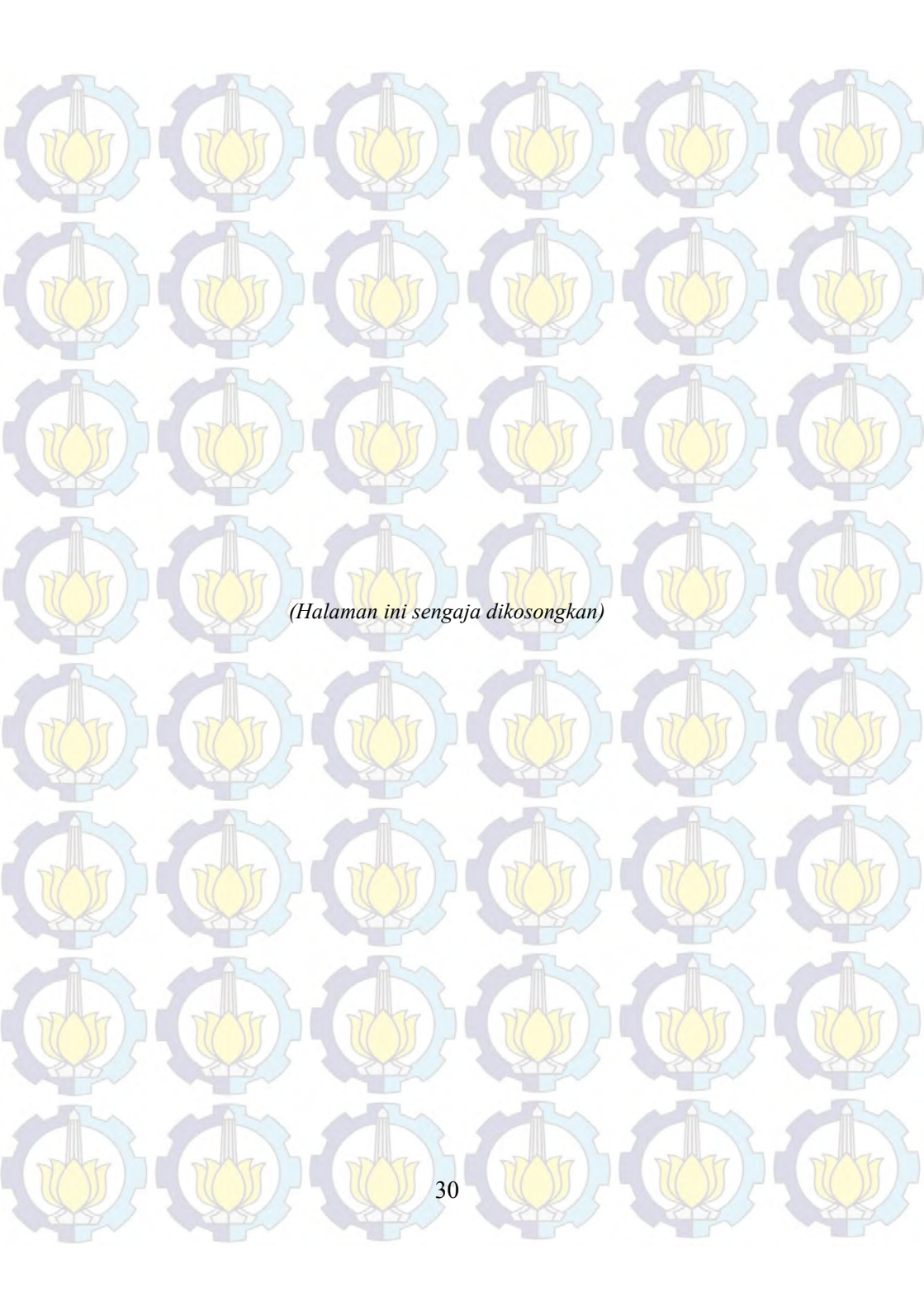
No.	INSTRUMENT	ID	Daya (kW)
		M201-501	55
2.	MOTOR MCC 4-2	RADIATOR FAN 4-2	30
		M201-501 4-2	55
3.	MOTOR MCC 4-3	RADIATOR FAN 4-3	30
		M201-501 4-3	55
4.	MOTOR MCC 4-4	RADIATOR FAN 4-4	30
		M201-501 4-4	55
5.	MCC 1-2	M-PP1150-A	186.5
		M-PP1150-B	186.5
		M-PP1150-C	186.5
		M-PP1150-D	186.5
6.	MCC 5	TRSNFER PUMP	89.5
		BOSTER PUMP	149.2
		TANK MIXER	7.4
7.	MCC PAD B	MTR 5	320
		MTR 9	320
		MTR 15	320
		MTR 17	50
		MTR 18	160
		MTR 23	160
8.	MCC PAD C	MTR 8	50
		MTR 12	50
		MTR 13	100
		MTR 20	320
9.	MCC TWTR DSPL	MTR-WTR-DSPL-1	330
		MTR-WTR-DSPL-2	330
		MTR-WTR-DSPL-3	330



No.	INSTRUMENT	ID	Daya (kW)
10.	PAD A	MTR 11	238
		MTR 1	238
		MTR 10	238
		MTR 21	238
		MTR 22	238
11.	MCC 1-1	M-PP-1170-A	112
		M-PP-1170-B	112
		M-PP-1170-C	112
		M-PP-1170-D	112

**Tabel 3.4** Data Kemampuan *Switchgear* pada JOB-PPEJ, Tuban

No.	SWGR	Tegangan (kV)
1.	BUS 76	0,38
2.	BUS 78	20
3.	MCC PAD A	0,48
4.	MCC PAD C	0,48
5.	LV-SWGR-02 B	0,48
6.	2500A-MV-SWGR-02B	4,16
7.	LV-SWGR-01	0,48
8.	MV-SWGR-03 A	4,16
9.	MV-SWGR-03 B	4,16
10.	MV-SWGR-06	4,16
11.	LV-SWGR-02 A	0,48



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

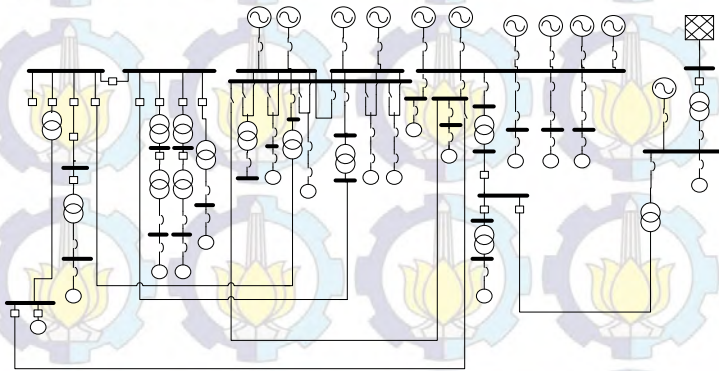


## BAB IV SIMULASI DAN ANALISA

### 4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan *JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*

Pemodelan sistem Kelistrikan JOB P-PEJ dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* pada *software* simulasi ETAP 7.5. Dalam membuat *single line diagram* dibutuhkan beberapa data peralatan, yaitu data kabel, trafo, generator, motor, bus, rele dan sistem pentanahan. Selanjutnya pemodelan akan dibagi menjadi 5 tipikal.

Setelah memodelkan sistem dengan membuat *single line diagram* sistem kelistrikan JOB P-PEJ dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui kondisi sistem telah dalam kondisi *steady state*, sehingga dari analisis tersebut dapat diketahui tegangan bus, pembebanan trafo, pembebanan bus, rugi-rugi daya listrik dan faktor daya pada tiap *feeder*.



**Gambar 4.1a** Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 1

### 4.2. Pemilihan Tipikal Koordinasi pada *JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*

Dalam setting rele pengaman untuk mempermudah setting koordinasi rele pengaman, maka dipilih beberapa tipikal JOB P-PEJ, yaitu



1. Tipikal JOB P-PEJ dan Generator baru adalah tipikal terpanjang untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa pada JOB P-PEJ. Tipikal ini terdiri dari beberapa level tegangan, yaitu 11kV, 70 kV, 6.3 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman, Dimulai dari MV-SWGR-03-BB-“B”-2500A sampai ke Mtr-20. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa rele R-F.1.1, R-F.1.2, CB-F.1.1, CB-F.1.2, CB-F.1.3, CB-M20., rele Gen baru-1. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan setting koordinasi rele Tipikal ini selanjutnya akan disebut dengan tipikal 1.
2. Tipikal JOB P-PEJ untuk selanjutnya disebut dengan tipikal 2. Pada tipikal 2 terdapat beberapa rele arus lebih gangguan fasa yang perlu dikoordinasi, yaitu terdiri dari rele R-F.7.2, R-F.7.1, dan R-COUPLER. Rele R-F.7.2 mengamankan generator CENT.TRBN BY CTRCTR saat terjadi gangguan dan juga sebagai pengaman bus MV-SWGR-06-2500A JOB P-PEJ .
3. Tipikal JOB P-PEJ untuk selanjutnya disebut dengan tipikal 3. Pada tipikal ini terdapat tiga buah bus utama, yaitu LV-SWGR-02-BB-“B”-5000A, LV-SWGR-02-BB-“A”-5000A, dan LV-SWGR-01-3500A. Masing-masing bus dilengkapi dengan pengaman untuk menjaga dari gangguan yang terjadi. Pemilihan tipikal ini mewakili koordinasi rele terpanjang pada beban JOB P-PEJ I.
4. Koordinasi rele gangguan tanah pada JOB P-PEJ V, merupakan tipikal koordinasi rele gangguan tanah tipikal terpanjang pada sistem kelistrikan JOB P-PEJ. bus LV-SWGR-01-3500A sampai dengan bus 2500A-MV-SWGR-02. Rele R-7 mengamankan bus 2500A-MV-SWGR-02 dan juga sisi sekunder dari trafo TR-MD-E. Rele Relay82 berfungsi untuk melindungi sisi primer trafo dan juga bus LV-SWGR-01-3500A. bus 2500A-MV-SWGR-02B sampai ke motor Mtr-1. Pengaman pada tipikal ini yaitu rele R-8, CB\_9, dan CB-T1. Rele R-8 mengamankan bus 2500A-MV-SWGR-02B. Pemilihan tipikal ini karena sebelumnya belum dilakukan setting koordinasi rele pengaman pada JOB P-PEJ .
5. Koordinasi rele gangguan tanah pada JOB P-PEJ , rele R-273, Relay81, Relay 79, dan R6. Rele R-273 mengamankan bus 2500-MV-SWGR-02B dan sisi sekunder trafo T42. Rele Relay81 mengamankan bus 76 dan juga sisi primer trafo T42. Rele Relay79.

### 4.3 Analisis Arus Hubung Singkat

Setelah dilakukan analisis load flow pada sistem kelistrikan JOB P-PEJ, maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan analisis hubung singkat (*short circuit*), analisis ini digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih. Terdapat dua paramter yang digunakan dalam menghitung arus hubung singkat, yaitu arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa ke tanah pada saat 4 *cylce* dan hubung singkat minimum adalah hubung singkat antar fasa pada saat 30 *cycle*.

#### 4.3.2 Hubung Singkat Maksimum

Hubung singkat maksimum terajadi pada saat semua generator JOB P-PEJ bekerja pada keadaan normal. Hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan untuk *setting* rele dan *setting* kelambatan waktu 0.08-0.5 s. Hubung singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Pada simulasi gangguan hubung singkat maksimum dilakukan pada bus-bus dalam tipikal yang telah dipilih. Hasil simulasi hubung singkat maksimum dapat dilihat pada tabel 4.1

**Tabel 4.1** Data hubung singkat maksimum 4 *cycle*

no	Bus	Tegangan (kV)	Isc.max 4cylce (kA)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	20.84
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	22.13
3	B-IN TR-02-C	4.16	28.30
4	B-IN TR-MD-A	4.16	28.30
5	B-IN TR-MD-B	4.16	7.83
6	B-IN TR-MD-C	4.16	7.98
7	B-IN TR-MD-C1	13.8	28.64
8	B-IN TR-MD-E	0.48	7.83
9	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	26.05
10	Bus-11.1	048	26.05



(lanjutan)

no	Bus	Tegangan (kV)	Isc.max 4cylce (kA)
11	Bus-14-15	0.48	12.14
12	Bus-16-17	0.48	18.45
13	Bus-19-20	0.48	18.45
14	Bus-23-24	0.48	17.87

#### 4.3.2 Hubung Singkat Minimum

Hubung Singkat minimum terjadi pada saat semua generator JOB P-PEJ bekerja normal. Hubung singkat minimum 30 *cycle* digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih instan. Sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat pada arus gangguan minimum, rele tersebut dapat bekerja secara instan atau sesuai dengan *settingtime delay* yang telah ditentukan. Hasil simulasi hubung singkat minimum dapat dilihat pada tabel 4.2

**Tabel 4.2** Data hubung singkat minimum 30 cycle

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cylce (kA)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	12.07
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	12.77
3	B-IN TR-02-C	4.16	15.28
4	B-IN TR-MD-A	4.16	15.28
5	B-IN TR-MD-B	4.16	3.32
6	B-IN TR-MD-C	4.16	3.43
7	B-IN TR-MD-C1	13.8	16.72
8	B-IN TR-MD-E	0.48	3.32
9	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	13.53
10	Bus-11.1	048	13.53
11	Bus-14-15	0.48	10.42
12	Bus-16-17	0.48	14.96



(lanjutan)

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cyle (kA)
13	Bus-19-20	6.3	14.96
14	Bus-23-24	6.3	14.46

#### 4.3.3 Hubung Singkat Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Analisis hubung singkat gangguan satu fasa ke tanah dilakukan untuk menentukan *setting* rele arus lebih gangguan tanah (*ground fault relay*). Pada simulasi hubung singkat gangguan satu fasa ke tanah dilakukan pada bus-bus dalam tipikal yang telah dipilih.

#### 4.4 Koordinasi Sistem Pengaman

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah pemilihan pada peralatan pengaman yang memiliki tujuan untuk mengisolasi suatu sistem pada saat terjadi rele gangguan arus lebih fasa saja. Gangguan yang terjadi dapat berupa gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat. Sehingga setelah koordinasi proteksi yang tepat diperlukan untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas daya listrik.

Pada koordinasi rele arus lebih dilakukan *setting* arus dan waktu pada rele arus lebih (50/51). Pada perhitungan *setting* rele arus lebih ini akan dihiutng nilai *low set*, *higt set*, *time dial* dan untuk *time delay* dipilih *grading time* 0.2 s.

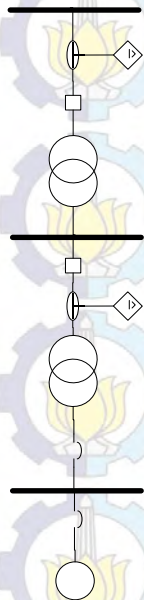
Setelah perhitungan nilai-nilai untuk *setting* rele arus lebih telah didapatkan, langkah selanjutnya adalah plot *Time current curve* pada *softwaresimulasi* ETAP 7.5. Sehingga dapat diketahui *setting*koordinasi yang tepat. Pada koordinasi rele harus memperhatikan arus *starting* motor dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo.

##### 4.4.1 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1

Gambar 4.1 dibawah adalah pemodelan sistem pengaman eksisting tipikal 1. Dimulai dari MV-SWGR-03-BB-“B”-2500A sampai ke Mtr-20. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa rele R-F.1.1, R-F.1.2, CB-F.1.1, CB-F.1.2, CB-F.1.3, CB-M20.

Jika terjadi hubung singkat atau beban lebih pada motor Mtr-20, CB-M20 akan bekerja pertama kali. Jika CB-M20 gagal untuk mengamankan, CB-F.1.3 akan menjadi backup dan melindungi trafo TR-MD-C1. Untuk pelindung bus MV-SWGR-05 1250A terdapat rele R-F.1.2 dan CB-F.1.2 yang juga melindungi TR-MD-C. Selanjutnya

pengaman terakhir adalah CB-F.1.1 dan rele R-F.1.1 untuk melindungi bus MV-SWGR-03-BB-“B”-2500A.



**Gambar 4.1b** Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 1

Berikut ini *setting* pengaman kondisi eksisting:

**Tabel 4.3** Data Eksisting Pengaman Tipikal 1

ID	Manufacturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Curve Type	Standard Inverse
				Pickup	0.72
				Time Dial	1.4
				Instantaneous Pickup	3



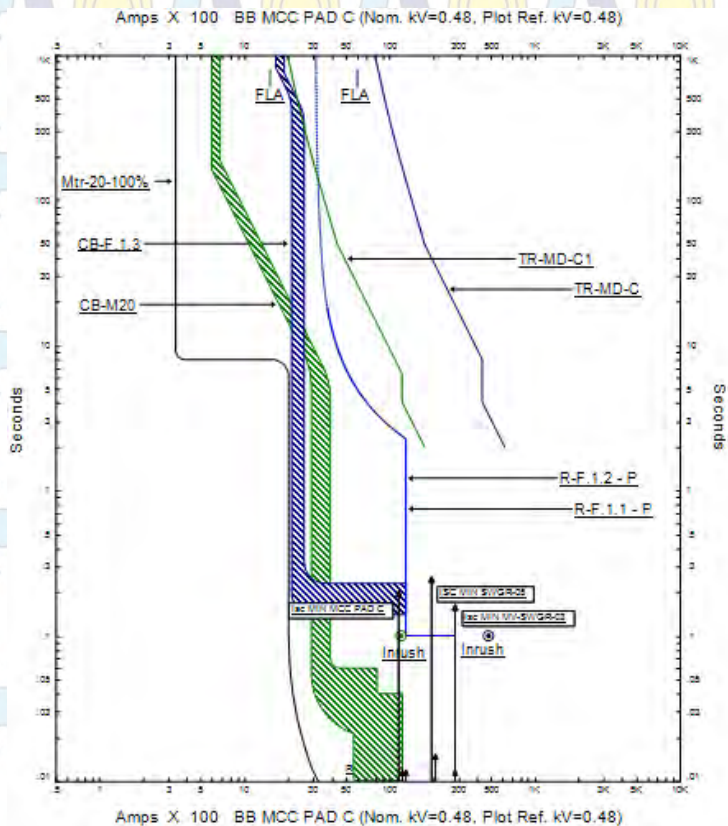
(lanjutan)

ID	Manufacturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Delay	0.1 s
R-F.1.2	Merlin Gerlin	Sepam 1000	150/5	Curve Type	Standard Inverse
				Pickup	0.72
				Time Dial	1.4
				Instantaneous Pickup	3
				Delay	0.1 s
CB-F.1.3	Merlin Gerlin	STR 68U		sensor	1600
				long time pickup	0.98
				long time band	480
				short time pickup	1.5
				short time band	0.2
CB-M20	Merlin Gerlin	STR 23SE		instantaneous pickup	none
				sensor	630
				long time pickup	1
				long time band	fixed
				short time pickup	6
				short time band	fixed
				instantaneous pickup	fixed

Kurva koordinasi dari data diatas dapat dilihat di simulasi Star System ETAP.Simulasi ini digunakan untuk melihat bagaimana koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan.

Gambar 4.2 adalah bentuk kurva koordinasi sistem pengamanan tipikal 1.

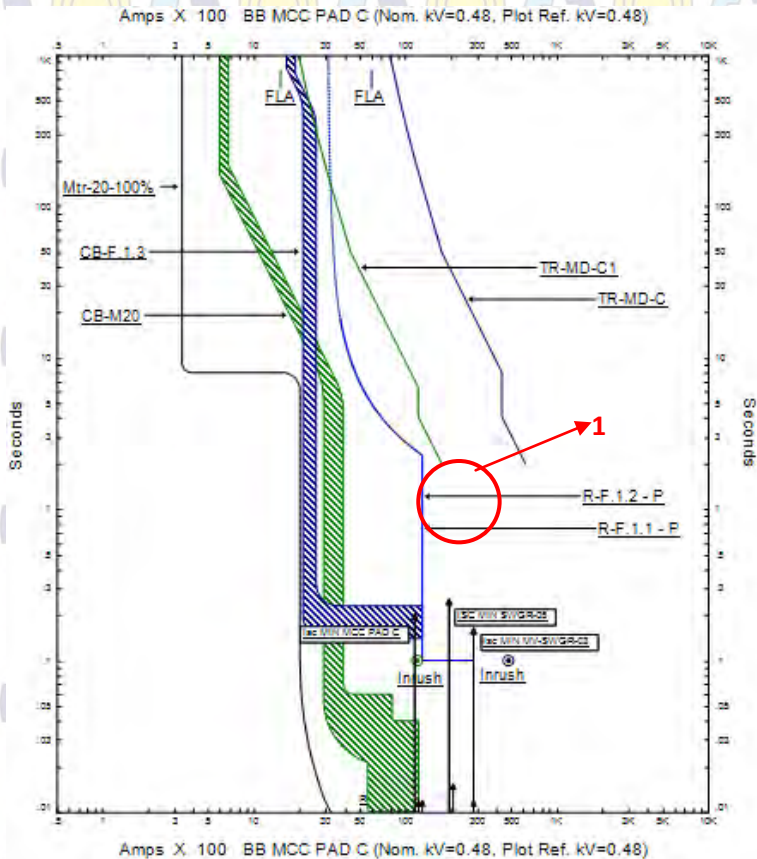




**Gambar 4.2** Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1

Hasil plot eksisting terdapat tanda lingkaran merah yang menandakan bahwa koordinasi sistem pengaman kurang tepat, yaitu:

1. *Setting* rele R-F.1.1 dan R-F.1.2 adalah sama. Hal ini mengakibatkan saat terjadi gangguan, rele ini akan bekerja secara bersamaan. Seharusnya rele tersebut memiliki *setting* yang berbeda karena mengamankan tempat yang berbeda.



**Gambar 4.3** Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1

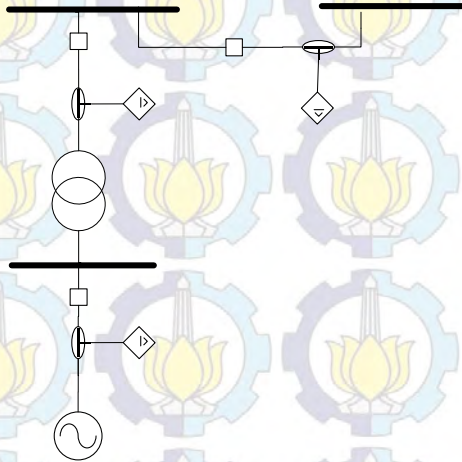
Hasil plot eksisting terdapat tanda lingkaran merah yang menandakan bahwa koordinasi sistem pengaman kurang tepat, yaitu:

2. *Setting* rele R-F.1.1 dan R-F.1.2 adalah sama. Hal ini mengakibatkan saat terjadi gangguan, rele ini akan bekerja secara bersamaan. Seharusnya rele tersebut memiliki *setting* yang berbeda karena mengamankan tempat yang berbeda.



#### 4.2.2.Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2

Gambar 4.4 dibawah ini merupakan tipikal 2 pada sistem kelistrikan JOB P-PEJ.



**Gambar 4.4** Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 2

Pengaman pada gambar 4.4 tipikal 2 terdiri dari rele R-F.7.2, R-F.7.1, dan R-COUPLER. Rele R-F.7.2 mengamankan generator CENT.TRBN BY CTRCTR saat terjadi gangguan dan juga sebagai pengaman bus MV-SWGR-06-2500A. Rele R-F.7.1 mengamankan trafo TR-02-C dan juga bus MV-SWGR-03-BB-“A”-2500A dari gangguan. Sedangkan rele R-COUPLER berfungsi mengamankan bus MV-SWGR-03-BB-“A”-2500A dan MV-SWGR-03-BB-“B”-2500A.

Berikut ini *setting* pengaman kondisi eksisting tipikal 2:



**Tabel 4.4**Data Eksisting Pengaman Tipikal 2

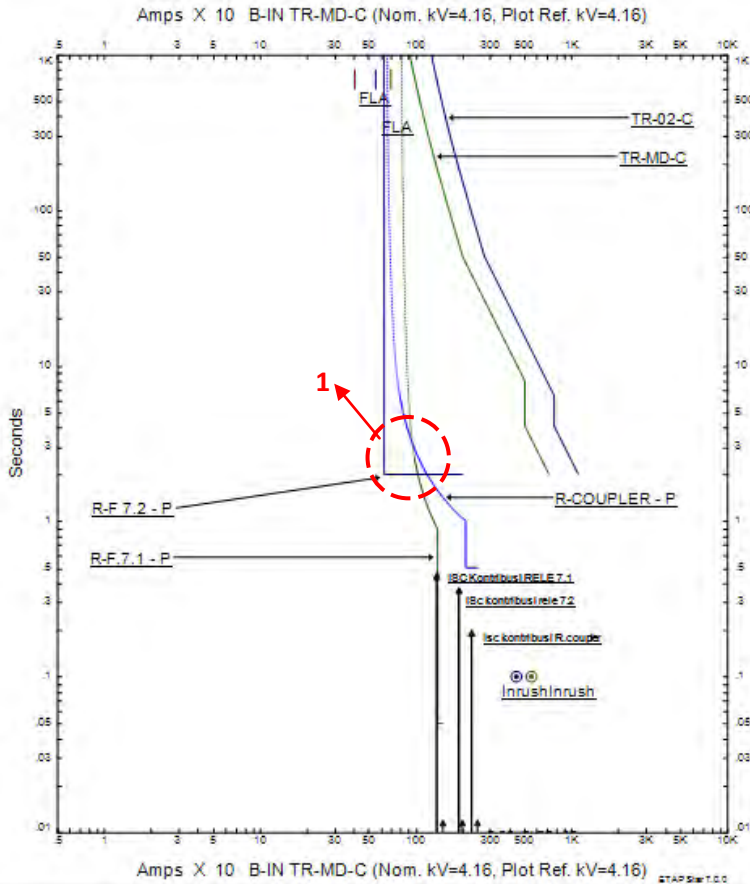
<i>ID</i>	<i>Manufacture r</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
				<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
<b>R-F.7.2</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	630/5	<i>Pickup</i>	1.47
				<i>Time Dial</i>	0.6
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1
				<i>Delay</i>	2s
				<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
<b>R-F.7.1</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	630/5	<i>Pickup</i>	1.3
				<i>Time Dial</i>	0.2
				<i>Instantaneous Pickup</i>	2.2
				<i>Delay</i>	0.05s
				<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
<b>R- COUPLER</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	600/5	<i>Pickup</i>	1.1
				<i>Time Dial</i>	0.5
				<i>Instantaneous Pickup</i>	3.5
				<i>Delay</i>	0.5
				<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>

Kurva koordinasi dari data diatas dapat dilihat di simulasi Star System ETAP.Simulasi ini digunakan untuk melihat bagaimana koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan.

Dilihat dari gambar 4.5, terdapat dua kesalahan yang ditandai dengan lingkaran merah, antara lain :

1. *Setting*wakturele R-F.7.2 adalah 2 detik. Hal ini menyebabkan rele terlalu lama untuk trip sehingga gangguan yang terjadi tidak dapat segera dihilangkan.

Berikut ini adalah bentuk kurva koordinasinya:

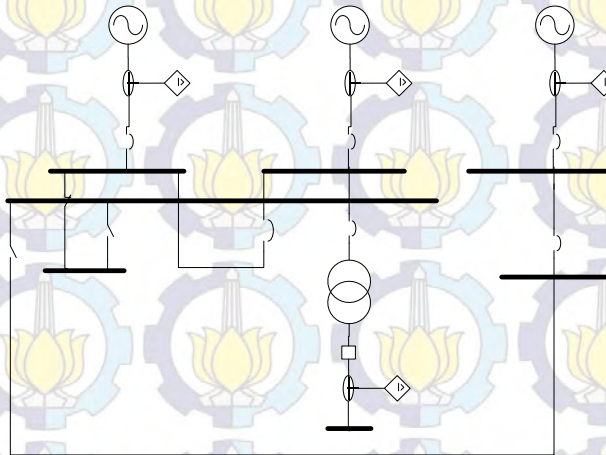


**Gambar 4.5** Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2



### 4.2.3. Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3

Gambar 4.6 dibawah ini merupakan tipikal 3 pada sistem kelistrikan JOB P-PEJ.



**Gambar 4.6** Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 3

Pada tipikal 3 terdapat tiga buah bus utama, yaitu LV-SWGR-02-BB-“B”-5000A, LV-SWGR-02-BB-“A”-5000A, dan LV-SWGR-01-3500A. Masing-masing bus dilengkapi dengan pengaman untuk menjaga dari gangguan yang terjadi. Sistem kelistrikan pada bus ini dilengkapi dengan sistem *doublebus* yaitu bus AUX-LV-SWGR-02-5000A. Bus tersebut diposisikan *open* karena sistem *doublebus* hanya salah satu bus yang digunakan.

Untuk *setting* eksisting sistem pengaman tipikal 3 dapat dilihat pada tabel 4.5.



**Tabel 4.5**Data Eksisting Pengaman Tipikal 3

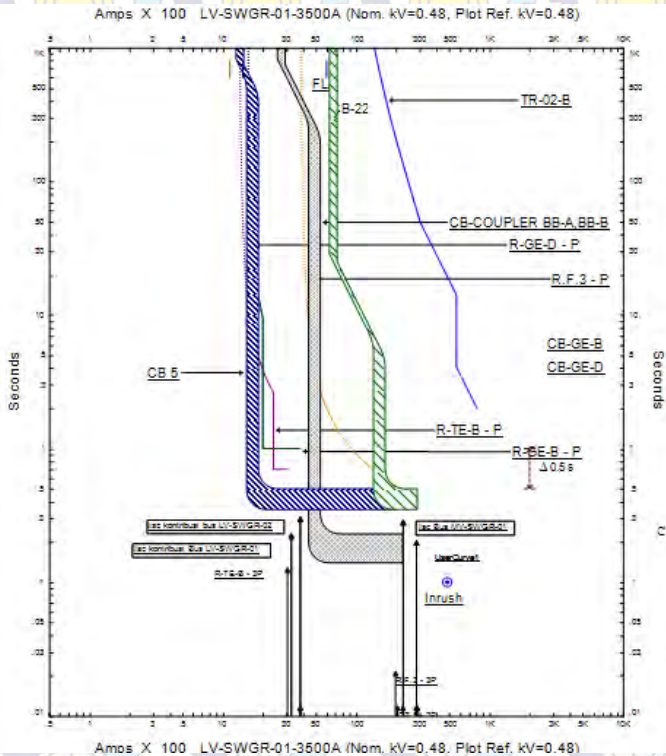
<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>R-GE-D</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	2000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.78
				<i>Time Dial</i>	1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1
				<i>Delay</i>	1s
<b>R-GE-B</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	2000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.78
				<i>Time Dial</i>	1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1
				<i>Delay</i>	1 s
<b>R-TE-B</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	1500/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.9
				<i>Time Dial</i>	0.65
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.6
				<i>Delay</i>	0.7
<b>CB- COUPLE R BB-A, BB-B</b>	Merlin Gerlin	STR 68U	-	<i>sensor</i>	5000
				<i>long time pickup</i>	0.98
				<i>long time band</i>	480
				<i>short time pickup</i>	2
				<i>short time band</i>	0.2

(lanjutan)

ID	Manufacturer	Model	CT Ratio	Setting	
				<i>instantaneous pickup</i>	-
CB-22	Merlin Gerlin	STR 68U	-	<i>sensor</i>	6000
				<i>long time pickup</i>	1
				<i>long time band</i>	15
				<i>short time pickup</i>	2.5
				<i>short time band</i>	0.4
				<i>instantaneous pickup</i>	-
CB-5	Merlin Gerlin	STR 68U	-	<i>sensor</i>	1200
				<i>long time pickup</i>	1
				<i>long time band</i>	480
				<i>short time pickup</i>	1.4
				<i>short time band</i>	0.4
				<i>instantaneous pickup</i>	-

Dari data tabel 4.5 diatas dapat dibuat kurva koordinasi seperti gambar 4.7. Pada rele R-GE-D dan R-GE-B delay sebesar 1 detik. Hal ini bisa dipercepat agar pengamanan gangguan lebih baik. Perlu dilakukan rekoordinasi agar pengamanan menjadi lebih baik.



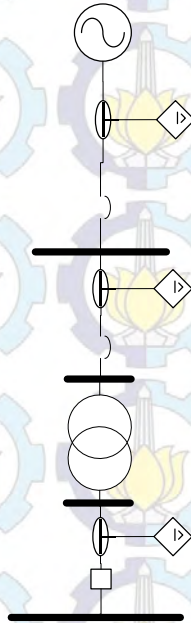


**Gambar 4.7** Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3

#### 4.2.4. Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4a

Pada tipikal 4a dimulai dari bus LV-SWGR-01-3500A sampai dengan bus 2500A-MV-SWGR-02. Gambar 4.8 dibawah menunjukkan sistem kelistrikan pada tipikal 4a. Rele R-7 mengamankan bus 2500A-MV-SWGR-02 dan juga sisi sekunder dari trafo TR-MD-E. Rele Relay82 berfungsi untuk melindungi sisi primer trafo dan juga bus LV-SWGR-01-3500A. Selain itu dengan adanya rele R-TE-B juga sebagai pengaman untuk LV-SWGR-01-3500A.





**Gambar 4.8** Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 4a

Berikut ini adalah data dari *setting* pengaman tipikal 4a:

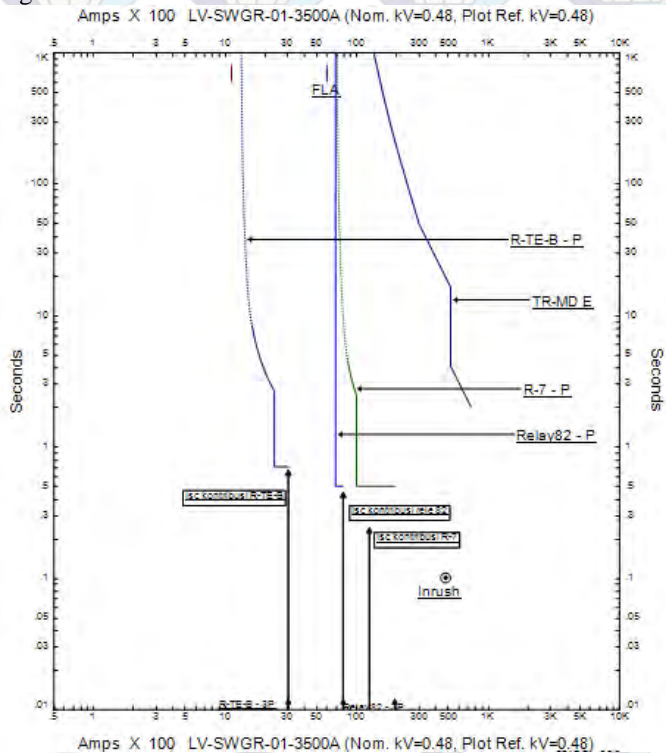
**Tabel 4.6**Data Eksisting Pengaman Tipikal4a

<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>R-7</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	800/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1.04
				<i>Time Dial</i>	0.35
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.46
				<i>Delay</i>	0.5s

(lanjutan)

ID	Manufacturer	Model	CT Ratio	Setting	
Relay82	Merlin Gerlin	Sepam 1000	7000/5	Curve Type	Standard Inverse
				Pickup	0.95
				Time Dial	3.4
				Instantaneous Pickup	1
				Delay	0.5s

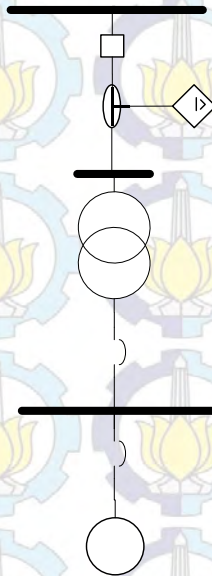
Dari data diatas bisa dilihat saat simulasi star ETAP dilakukan seperti gambar 4.9 dibawah ini.



**Gambar 4.9** Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4a



#### 4.2.5. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4b



**Gambar 4.10** Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 4b

Koordinasi pada tipikal 4b ini dimulai dari bus 2500A-MV-SWGR-02B sampai ke motor Mtr-1. Pengaman pada tipikal ini yaitu rele R-8, CB\_9, dan CB-T1. Rele R-8 mengamankan bus 2500A-MV-SWGR-02B dan juga sisi primer trafo TR-MD-A. CB\_9 mengamankan bus MCC PAD A dan juga sisi sekunder trafo. Untuk pengaman motor Mtr-1 digunakan CB-T1.

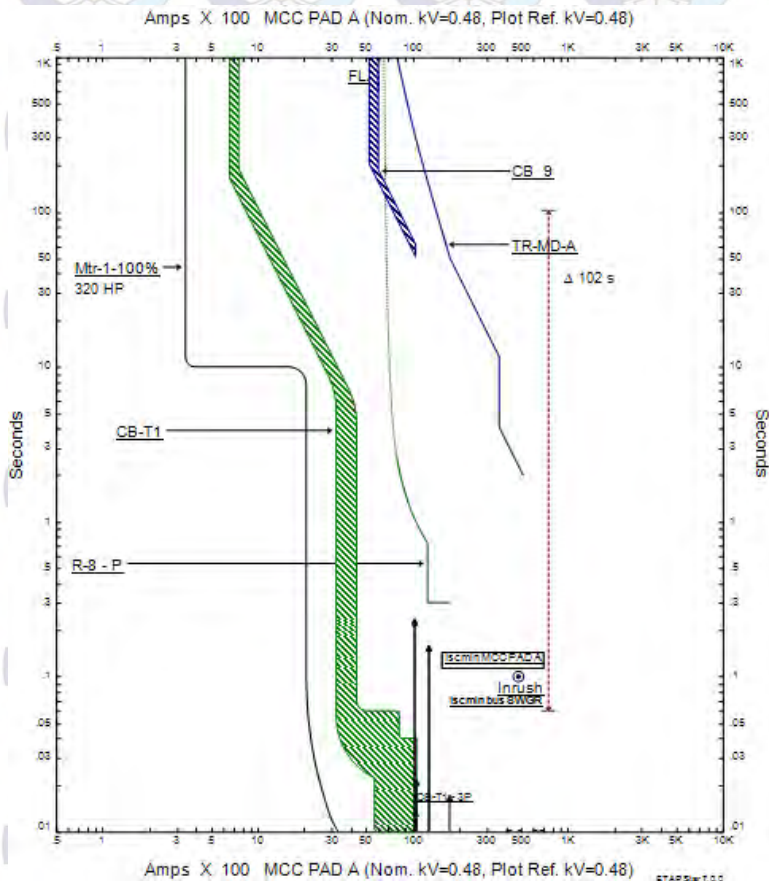
Berikut ini data dari *setting* pengaman yang digunakan di tipikal 4b:

**Tabel 4.7**Data Eksisting Pengaman Tipikal4b

<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
<b>R-8</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	800/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.95
				<i>Time Dial</i>	0.2
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.8
				<i>Delay</i>	0.3s
<b>CB 9</b>	Merlin Gerlin	STR 68U	-	<i>sensor</i>	5000
				<i>long time pickup</i>	1
				<i>long time band</i>	120
				<i>short time pickup</i>	6
				<i>short time band</i>	0.3
				<i>instantaneous pickup</i>	-
<b>CB-T1</b>	Merlin Gerlin	STR 32SE	-	<i>sensor</i>	630
				<i>long time pickup</i>	1
				<i>long time band</i>	fixed
				<i>short time pickup</i>	6
				<i>short time band</i>	fixed
				<i>instantaneous pickup</i>	fixed

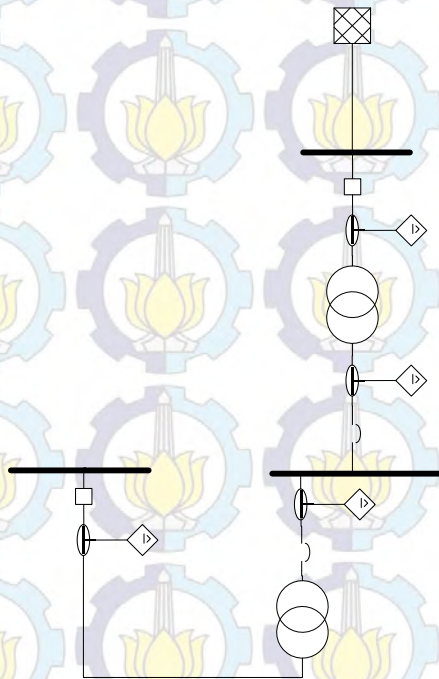


Dari data tabel 4.7 diatas dapat digambarkan kurva koordinasinya seperti pada gambar 4.11. Pada gambar 4.11 CB\_9 sebagai pengaman bus MCC PAD A waktu kerjanya didahului oleh rele R-8. Hal ini menyebabkan saat terjadi gangguan di bus MCC PAD A, yang bekerja adalah rele R-8. Untuk itu perlu adanya rekoordinasi lagi.



**Gambar 4.11** Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4b

#### 4.2.6 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 5



**Gambar 4.12** Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 5

Pengaman di tipikal 5 antara lain rele R-273, Relay81, Relay 79, dan R6. Rele R-273 mengamankan bus 2500-MV-SWGR-02B dan sisi sekunder trafo T42. Rele Relay81 mengamankan bus76 dan juga sisi primer trafo T42. Rele Relay79 mengamankan bus76 dan juga sisi sekunder trafo T32. Lalu rele R-6 mengamankan bus78 dan juga sisi primer trafo T32.

Di bawah ini tabel data *setting* pengaman pada tipikal 5.



**Tabel 4.8** Data Eksisting Pengaman Tipikal5

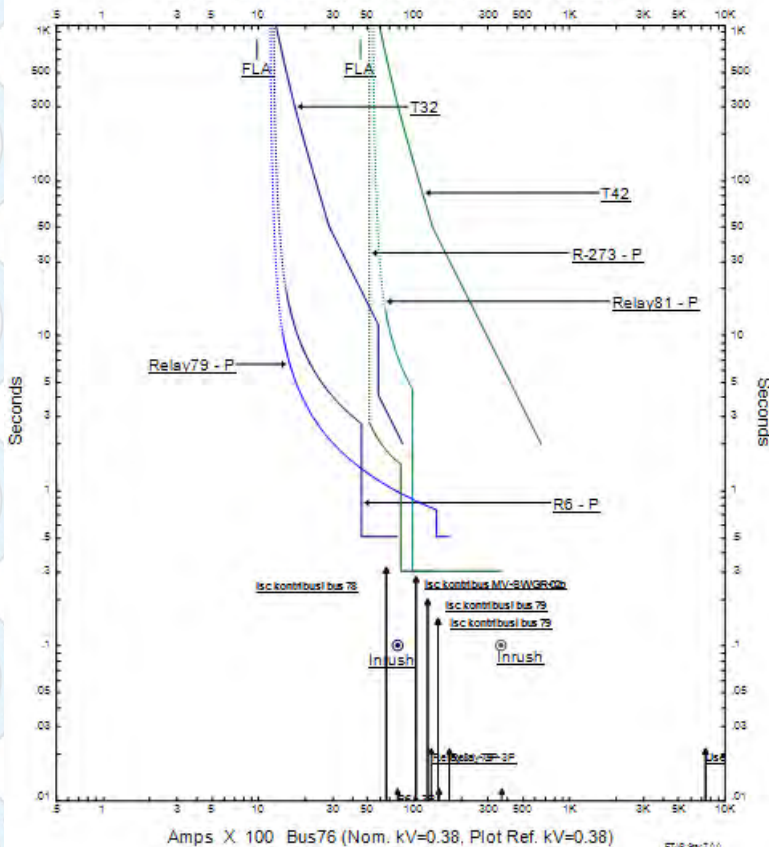
<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
				<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
<b>R-273</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	500/5	<i>Pickup</i>	0.95
				<i>Time Dial</i>	0.89
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.51
				<i>Delay</i>	0.3s
<b>Relay81</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	5000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1.1
				<i>Time Dial</i>	1.12
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.97
<b>Relay79</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	1000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1.2
				<i>Time Dial</i>	0.8
				<i>Instantaneous Pickup</i>	14.1
<b>R-6</b>	Merlin Gerlin	Sepam 1000	20/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1.2
				<i>Time Dial</i>	1.5
				<i>Instantaneous Pickup</i>	4.4

(lanjutan)

ID	Manufacturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Delay	0.5

Berikut ini kurva koordinasi tipikal 5 saat disimulasikan.

Amps X 100 Bus76 (Nom. kV=0.38, Plot Ref. kV=0.38)



**Gambar 4.13**Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 5



### 4.3. Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi *Resetting*

Pada kondisi *resetting* analisa koordinasi proteksi menggunakan standart IEEE 1584-2002 untuk menghitung nilai reledan untuk simulasinya *software* ETAP.

#### 4.3.1. Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi *Resetting* Tipikal 1.

*Resetting* dilakukan pada rele R-F.1.1 dan R-F.1.2 karena memiliki *setting* yang sama.

- **Relay R-F.1.2**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerlin
<i>Model</i>	: sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>StandardInverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100/5
ISC min 30 cycle MV-SWGR-05	: 0,727
FLA	: 52,3
<i>Time Delay</i>	: 0,3

*Time over current pick-up*

$$1,2 \times \text{FLA TR-MD-C1} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{ISC min SWGR-05}$$

$$1,2 \times 52,3 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 727$$

$$62,76 \leq \text{Iset} \leq 581,6$$

$$\text{Dipilih Iset} = 62,76 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{62,76}{100} = 0,62$$

*Time Dial*

Dipilih waktu operasi (td) = 2,5 s

$$\text{td} = \frac{T \times 0,14}{2,97 \times \left(\frac{1}{\text{Iset}}\right)^{0,02}} - 1$$

$$K = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{1}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{2,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times I_{sc \text{ Min MV-SWGR-05}}}{Tab \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{2,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times 727}{0,62 \times 100} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,34}{0,14}$$

$$= 2,4 \text{ s}$$

#### Instantaneous Pickup

$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc \text{ min MV-SWGR-05}}$$

$$I_{set} > 0,8 \times 727$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 581,8 \text{ A}$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{581,8}{100} = 5,81$$

#### • Relay R-F.1.1

*Manufacture*

: Merlin Gerlin

*Model*

: Sepam 1000

*Curve Type*

: *Standard Inverse*

*CT Ratio*

: 800/5

*ISC min 30 cycle MV-SWGR-03-B*

: 3,27

*FLA*

: 693,9

*Time Delay*

: 0,3

*Time Overcurrent Pick-up*

$$1,2 \times \text{FLA secondary TR-MD-C1} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ Min MV-SWGR-05}}$$

$$1,2 \times 693,9 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 3270$$



$$\begin{aligned} 832,68 &\leq I_{set} \leq 2616 \\ \text{dipilih } I_{set} &= 832,68 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{832,68}{800} = 1,04$$

### Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 4.5 s

$$td = \frac{T \times K}{2,97 \times \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{4,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times I_{sc} \text{ Min MV} - \text{SWGR} - 03 - B}{\text{Tab} \times CT \text{ primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{4,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times 3270}{1,04 \times 800} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,3}{0,14}$$

$$= 2,14 \text{ s}$$

### Instantaneous Pickup

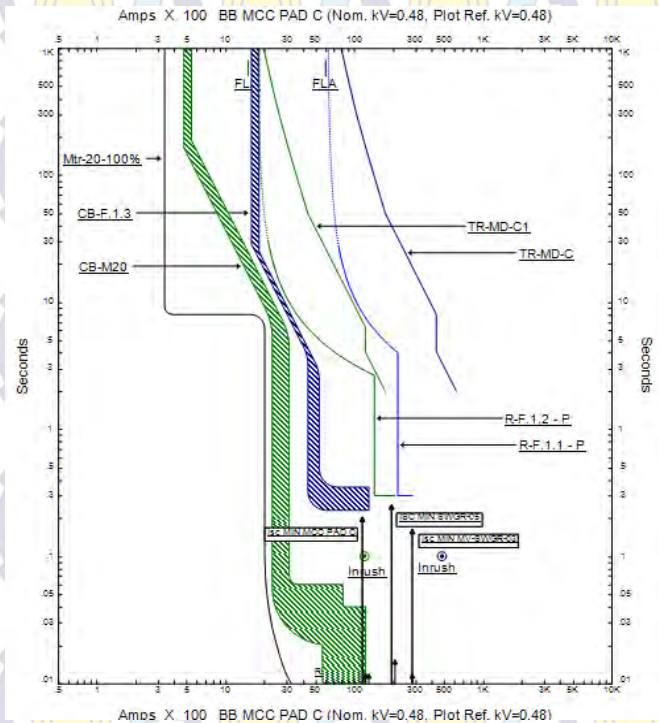
$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc} \text{ min MV-SWGR-03-B}$$

$$I_{set} > 0,8 \times 3270$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 2616 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{2616}{800} = 3,27$$

Setelah dilakukan *resetting*, maka kurva koordinasi pengaman pada tipikal 1 akan menjadi seperti gambar 4.14 dibawah ini :



**Gambar 4.14**Kurva Koordinasi Resetting Tipikal 1

#### 4.3.2. Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi Resetting Tipikal 2.

Pada tipikal 2 perbaikan *setting* dilakukan pada rele R-COUPLER, R-F.7.2 dan juga R-F.7.1.

- **Relay R-COUPLER**

*Manufacture*

: Merlin Gerlin

*Model*

: Sepam 1000

*Curve Type*

: Standard Inverse

*CT Ratio*

: 600/5



$$\begin{aligned} \text{Isc kontribusi MV-SWGR-03-BB-B} &: 2,29 \\ \text{FLA} &: 555,1 \\ \text{Time Delay} &: 0,5 \end{aligned}$$

### Low Set Current Setting ( $I_{set}$ )

$$\begin{aligned} 1,2 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times \text{Isc Min MV-SWGR-03-B} \\ 1,2 \times 555,1 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 2,29 \\ 666,12 &\leq I_{set} \leq 1832 \\ \text{dipilih } I_{set} &= 666,12 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT primary}} = \frac{666,12}{600} = 1,1$$

### Time-Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 1,5 s

$$\begin{aligned} t_d &= \frac{T \times K}{2,97 \times \left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\ K &= \frac{T \times 2,97 \times \left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{1,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times \text{Isc kontribusi MV-SWGR-03-B}}{\text{Tab} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{1,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times 1832}{1,1 \times 600} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,07}{0,14} \\ &= 0,5 \text{ s} \end{aligned}$$

### Instantaneous Pickup

$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc} \text{ kontribusi MV-SWGR-03-BB-B}$$

$$I_{set} > 0,8 \times 2290$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 1832A$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{1832}{600} = 3,05$$

- **Relay R-F.7.1**

*Manufacture*

: Merlin Gerlin

*Model*

: Sepam 1000

*Curve Type*

: *Standard Inverse*

*CT Ratio*

: 600/5

*ISC kontribusi MV-SWGR-03-BB-A*

: 1,49

*FLA*

: 555,1

*Time Delay*

: 0,5

*Low Set Current Setting (I<sub>L</sub>)*

$$1,2 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ kontribusi MV-SWGR-03-BB-A}$$

$$1,2 \times 555,1 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1,49$$

$$666,12 \leq I_{set} \leq 1192$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 666,12 A$$

$$\text{Setting Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{666,12}{600} = 1,1$$

*Time-Dial*

Dipilih waktu operasi (td) = 1,5 s

$$td = \frac{T \times K}{2,97 \times \left(\frac{1}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left(\frac{1}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$



$$\begin{aligned}
 K &= \frac{1,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times I_{sc} \text{ MV-SWGR-03-B}}{\text{Tab} \times CT_{primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{1,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times 1192}{1,1 \times 600} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{0,03}{0,14} \\
 &= 0,3 \text{ s}
 \end{aligned}$$

### Instantaneous Pickup

$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc} \text{ min MV-SWGR-03-B}$$

$$I_{set} > 0,8 \times 1,49$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 1192 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{1192}{600} = 1,9$$

### • Relay R-F.7.2

*Manufacture*

: Merlin Gerlin

*Model*

: Sepam 1000

*Curve Type*

: *Standard Inverse*

*CT Ratio*

: 500/5

*ISC kontribusi Bus MV-SWGR-06*

: 1,37

*FLA*

: 408,2

*Time Delay*

: 0,7

### Low Set Current Setting ( $I_{>}$ )

$$1,2 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 \times \text{ISC kontribusi MV-SWGR-06}$$

$$1,2 \times 408,2 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1,37$$

$$489,84 \leq I_{set} \leq 2528$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 489,84 \text{ A}$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{489,84}{500} = 0,97$$

### Time-Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,5 s

$$t_d = \frac{T \times K}{2,97 \times \left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left(\frac{0,8 \times I_{sc \text{ MV-SWGR-06}}}{Tab \times CT \text{ primary}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,5 \times 2,97 \times \left(\frac{0,8 \times 3160}{0,97 \times 500}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,04}{0,14}$$

$$= 0,28 \text{ s}$$

### Instantaneous Pickup

$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc \text{ min MV-SWGR-03-B}}$$

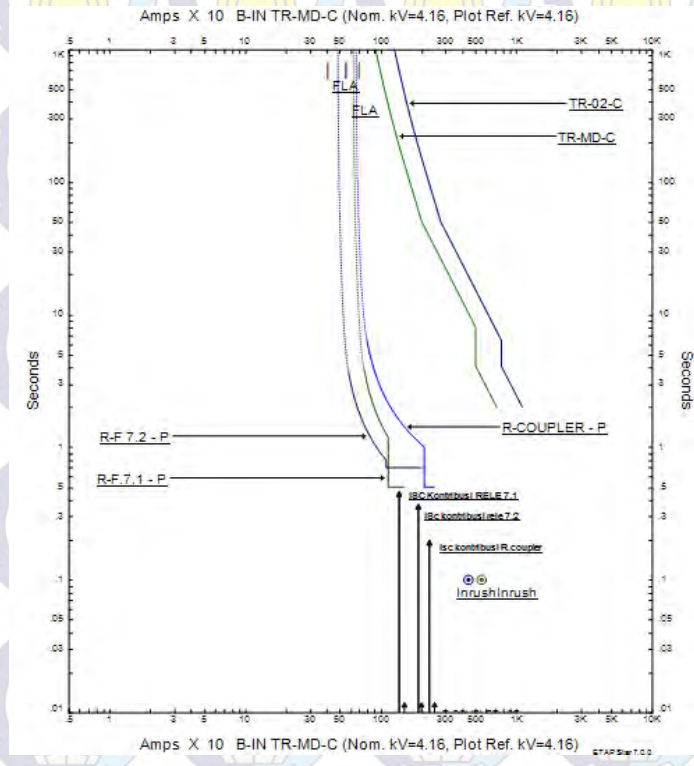
$$I_{set} > 0,8 \times 3160$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 2528A$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{2528}{500} = 5,05$$

Setelah dilakukan *resetting*, maka kurva koordinasi pengaman pada tipikal 2akan menjadi seperti gambar 4.15 dibawah ini :





**Gambar 4.15** Kurva Koordinasi *Resetting* Tipikal 2

### 4.3.3. Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi *Resetting* Tipikal 3.

Berikut ini merupakan *resetting* pada tipikal 3.

- Relay R-TE-B**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerlin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1500/5

ISC kontribusi LV-SWGR-01-3500 : 3,06

FLA : 1132

Time Delay : 0,7

Low Set Current Setting ( $I >$ )

$$1,2 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc Min LV-SWGR-01-3500}$$

$$1,2 \times 1132 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 3,06$$

$$1358,4 \leq \text{Iset} \leq 2448$$

$$\text{dipilih Iset} = 1358,4 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1358,4}{1500} = 0,9$$

Time-Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 2,5 s

$$\text{td} = \frac{T \times K}{2,97 \times \left( \frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left( \frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{2,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times \text{Isc LV-SWGR-01}}{\text{Tab} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{2,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times 2448}{0,9 \times 1500} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,05}{0,14}$$

$$= 0,35 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$\text{Iset} > 0,8 \times \text{Isc kontribusi LV-SWGR-01-3500}$$

$$\text{Iset} > 0,8 \times 3,06$$



$$\begin{aligned} \text{dipilih Iset} &= 2448 \text{ A} \\ \text{Tap} &= \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{2448}{1500} = 1,6 \end{aligned}$$

• **Relay R-GE-D**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerlin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
CT Ratio	: 1500/5
ISC kontribusi MV-SWGR-02-BB-B	: 3,82
FLA	: 1415
<u>Time Delay</u>	: 0,7

Low Set Current Setting (I<sub>></sub>)

$$\begin{aligned} 1,2 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc Min MV-SWGR-02-BB-B} \\ 1,2 \times 1415 &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 3,82 \\ 1698 &\leq \text{Iset} \leq 3056 \end{aligned}$$

dipilih Iset = 1698 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1698}{1500} = 1,13$$

Time-Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 2,5 s

$$\text{td} = \frac{T \times K}{2,97 \times \left( \frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left( \frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{2,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times \text{Isc MV-SWGR-02-B}}{\text{Tab} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{2,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times 3,82}{1,13 \times 1500} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,087}{0,14}$$

$$= 0,62 \text{ s}$$

#### Instantaneous Pickup

$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc} \text{ min MV-SWGR-03-B}$$

$$I_{set} > 0,8 \times 3,82$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 3056 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{3056}{1500} = 2.03$$

- **Relay R-GE-B**

*Manufacture*

: Merlin Gerlin

*Model*

: Sepam 1000

*Curve Type*

: *Standard Inverse*

*CT Ratio*

: 1500/5

*ISC kontribusi MV-SWGR-06*

: 3,82

*FLA*

: 1415

*Time Delay*

: 0,7

#### Low Set Current Setting ( $I_{>}$ )

$$1,2 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ kontribusi MV-SWGR-06}}$$

$$1,2 \times 1415 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 3,83$$

$$1698 \leq I_{set} \leq 3064$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 1698 \text{ A}$$

$$\text{Setting Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{1698}{1500} = 1,13$$

*Time-Dial*

Dipilih waktu operasi (td) = 2,5 s



$$\begin{aligned}
 td &= \frac{T \times K}{2,97 \times \left(\frac{1}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\
 K &= \frac{T \times 2,97 \times \left(\frac{1}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 K &= \frac{2,5 \times 2,97 \times \left(\frac{0,8 \times I_{sc} MV-SWGR-06}{Tab \times CT_{primary}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{2,5 \times 2,97 \times \left(\frac{0,8 \times 22,73}{1,13 \times 1500}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{0,06}{0,14} \\
 &= 0,62 \text{ s}
 \end{aligned}$$

#### Instantaneous Pickup

$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc} \text{ min MV-SWGR-02-B}$$

$$I_{set} > 0,8 \times 3,83$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 3064A$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{3064}{1500} = 2,04$$

#### • **Relay R-F-3**

*Manufacture* : Merlin Gerlin

*Model* : Sepam 1000

*Curve Type* : *Standard Inverse*

*CT Ratio* : 700/5

*ISC min 30 cycle MV-SWGR-03-BB-B* : 2,28

*FLA* : 693,9

*Time Delay* : 0,5

#### Low Set Current Setting ( $I_{>}$ )

$$1,2 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ Min MV-SWGR-03-B}$$

$$1,2 \times 693,9 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 2,28$$

$$832,68 \leq I_{set} \leq 1824$$

dipilih  $I_{set} = 832,68 \text{ A}$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{832,68}{700} = 1,18$$

Time-Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 9 s

$$td = \frac{T \times K}{2,97 \times \left(\frac{1}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left(\frac{1}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{9 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times I_{sc \text{ Min MV-SWGR-03-B}}{Tab \times CT \text{ primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{9 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times 1824}{1,18 \times 700} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,16}{0,14} = 2,12 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc \text{ min MV-SWGR-03-B}}$$

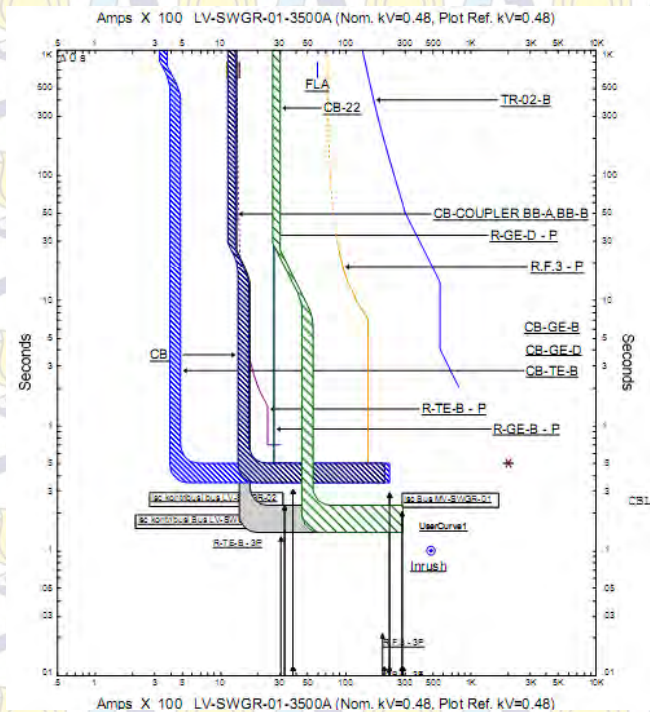
$$I_{set} > 0,8 \times 2,28$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 1824 \text{ A}$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{1824}{800} = 2,3$$

Setelah melakukan rekoordinasi, didapatkan kurva koordinasi sebagai berikut :





**Gambar 4.16**Kurva Koordinasi Reseting Tipikal 3

#### 4.3.4. Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi *Reseting* Tipikal 4a.

Berikut ini merupakan *reseting* pada tipikal 4a.

- Relay R-7**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerlin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 800/5
<i>ISC kontribusi MV-SWGR-02B</i>	: 1,46
<i>FLA</i>	: 693,3
<u><i>Time Delay</i></u>	: 0,5

### Low Set Current Setting ( $I_s$ )

$$1,2 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc Min MV-SWGR-02-B}}$$

$$1,2 \times 693,3 \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 1,46$$

$$831,96 \leq I_{\text{set}} \leq 1168$$

$$\text{dipilih } I_{\text{set}} = 831,96 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{831,96}{800} = 1,03$$

### Time-Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 2,5 s

$$t_d = \frac{T \times K}{2,97 \times \left(\frac{1}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left(\frac{1}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{2,5 \times 2,97 \times \left(\frac{0,8 \times I_{\text{sc kontribusi MV-SWGR-02B}}{\text{Tap} \times \text{CT primary}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{2,5 \times 2,97 \times \left(\frac{0,8 \times 1460}{1,03 \times 800}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,04}{0,14}$$

$$= 0,35 \text{ s}$$

### Instantaneous Pickup

$$I_{\text{set}} > 0,8 \times I_{\text{sc kontribusi MV-SWGR-02B}}$$

$$I_{\text{set}} > 0,8 \times 1,46$$

$$\text{dipilih } I_{\text{set}} = 1168 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{1168}{800} = 1,46$$

- **Relay R-82**

*Manufacture*

: Merlin Gerlin



*Model* : Sepam 1000  
*Curve Type* : *Standard inverse*  
 CT Ratio : 7000/5  
 Isckontribusi MV-SWGR-02B : 7,4  
 FLA : 6014  
*Time Delay* : 0,5

*Low Set Current Setting (I>)*

$$\begin{aligned}
 1,2 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc Min MV-SWGR-02-B} \\
 1,2 \times 6014 &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 7,4 \\
 7216,8 &\leq \text{Iset} \leq 1824 \\
 \text{dipilih Iset} &= 5920 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{7216,8}{7000} = 1,03$$

*Time-Dial*

Dipilih waktu operasi (td) = 0,5 s

$$\begin{aligned}
 \text{td} &= \frac{T \times K}{2,97 \times \left(\frac{1}{\text{Iset}}\right)^{0,02} - 1} \\
 K &= \frac{T \times 2,97 \times \left(\frac{1}{\text{Iset}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{0,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times \text{Isc kontribusi MV-SWGR-02B}}{\text{Tab} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{0,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times 7400}{1,03 \times 7000} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \\
 &= \frac{0,44}{0,14} \\
 &= 3,4 \text{ s}
 \end{aligned}$$

*Instantaneous Pickup*

$$\begin{aligned}
 \text{Iset} &> 0,8 \times \text{Isckontribusi MV-SWGR-02B} \\
 \text{Iset} &> 0,8 \times 2,28
 \end{aligned}$$

dipilih Iset = 1824A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1824}{7500} = 0,24$$

- **Relay R-TE-B**

*Manufacture*

: Merlin Gerlin

*Model*

: Sepam 1000

*Curve Type*

: *Standard Inverse*

*CT Ratio*

: 1500/5

ISC kontribusi LV-SWGR-01-3500

: 3,06

FLA

: 1132

*Time Delay*

: 0,7

*Low Set Current Setting (I<sub>></sub>)*

$$1,2 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{ISC kontribusi LV-SWGR-01-3500}$$

$$1,2 \times 1132 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 3,06$$

$$1358,4 \leq \text{Iset} \leq 2448$$

dipilih Iset = 1358,4 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1358,4}{1500} = 0,9$$

*Time-Dial*

Dipilih waktu operasi (td) = 4,5 s

$$\text{td} = \frac{\text{T} \times \text{K}}{2,97 \times \left( \frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{K} = \frac{\text{T} \times 2,97 \times \left( \frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$\text{K} = \frac{4,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times \text{ISC kontribusi LV-SWGR -01 -3500}}{\text{Tab} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$
$$= \frac{4,5 \times 2,97 \left( \frac{0,8 \times 2448}{0,9 \times 1500} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$



$$= \frac{0,09}{0,14}$$

$$= 0,65 \text{ s}$$

### Instantaneous Pickup

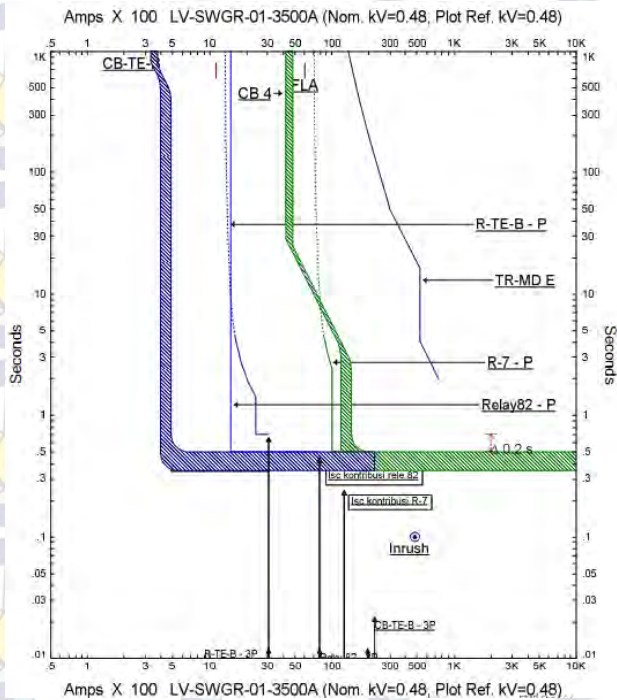
$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc} \text{ kontribusi LV-SWGR-01-3500}$$

$$I_{set} > 0,8 \times 3,06$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 2448 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{2448}{1500} = 1,6$$

Setelah melakukan rekoordinasi, didapatkan kurva koordinasi sebagai berikut :



**Gambar 4.17** Kurva Koordinasi Resetting Tipikal 4a

#### 4.3.5. Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi *Resetting* Tipikal 4b.

Berikut ini merupakan *resetting* pada tipikal 4b

- **Relay R-8**

<i>Manufacture</i>	: Merlin Gerlin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
CT Ratio	: 800/5
ISC kontribusi MV-SWGR-02B	: 2,28
FLA	: 693,3
<u><i>Time Delay</i></u>	: 0,3

*Low Set Current Setting (I<sub>></sub>)*

$$1,2 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{ISC kontribusi MV-SWGR-02B}$$

$$1,2 \times 693,3 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 2,28$$

$$831,96 \leq \text{Iset} \leq 1824$$

$$\text{dipilih Iset} = 831,96 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{831,96}{800} = 1,03$$

*Time-Dial*

Dipilih waktu operasi (td) = 0,5 s

$$\text{td} = \frac{T \times K}{2,97 \times \left( \frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left( \frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times \text{ISC Min MV-SWGR-02-B}}{\text{Tab} \times \text{CT primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times 2,28}{1,03 \times 800} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$



$$= \frac{0,04}{0,14}$$

$$= 0,28 \text{ s}$$

#### Instantaneous Pickup

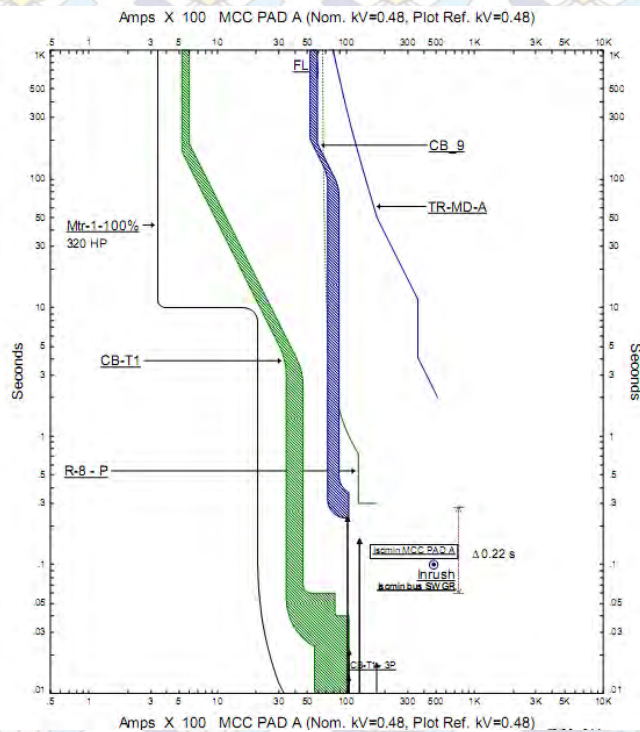
$$\text{Iset} > 0,8 \times \text{Isc kontribusi MV-SWGR-02B}$$

$$\text{Iset} > 0,8 \times 2,28$$

$$\text{dipilih Iset} = 1824 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1824}{800} = 2,28$$

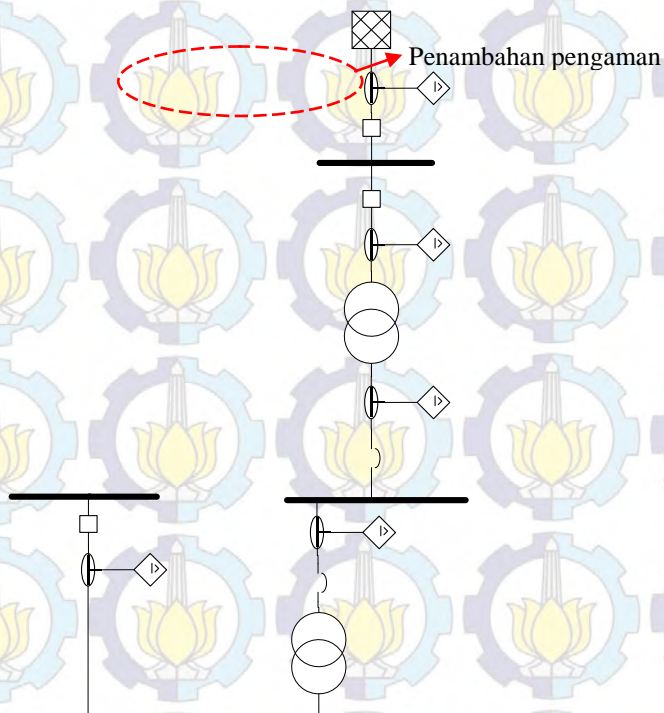
Setelah melakukan rekoordinasi, didapatkan kurva koordinasi sebagai berikut :



**Gambar 4.18** Kurva Koordinasi Resetting Tipikal 4b

#### 4.3.6. Simulasi Koordinasi Proteksi pada Kondisi *Resetting* Tipikal 5.

Berikut ini merupakan *resetting* pada tipikal 5



**Gambar 4.19** *Resetting* JOB P-PEJ Tipikal 5

- **Relay88**

*Manufacture*

: Merlin Gerlin

*Model*

: sepam 1000

*Curve Type*

: *Standard Inverse*

*CT Ratio*

: 20/5

*ISC min 30 cyce Bus 78*

: 0,127

*FLA*

: 18,76

*Time Delay*

: 0,5



### Low Set Current Setting ( $I_{set}$ )

$$1,2 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ Min Bus 78}}$$

$$1,2 \times 18,76 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 0,127$$

$$24,38 \leq I_{set} \leq 101,6$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 24,38 \text{ A}$$

$$\text{Setting Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{24,38}{20} = 1,2$$

### Time-Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,5 s

$$t_d = \frac{T \times K}{2,97 \times \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$K = \frac{T \times 2,97 \times \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,2} - 1}{0,14}$$

$$K = \frac{2,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times I_{sc \text{ Min Bus 78}}}{\text{Tab} \times CT \text{ primary}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{2,5 \times 2,97 \times \left( \frac{0,8 \times 127}{1,2 \times 20} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,2}{0,14}$$

$$= 1,3 \text{ s}$$

### Instantaneous Pickup

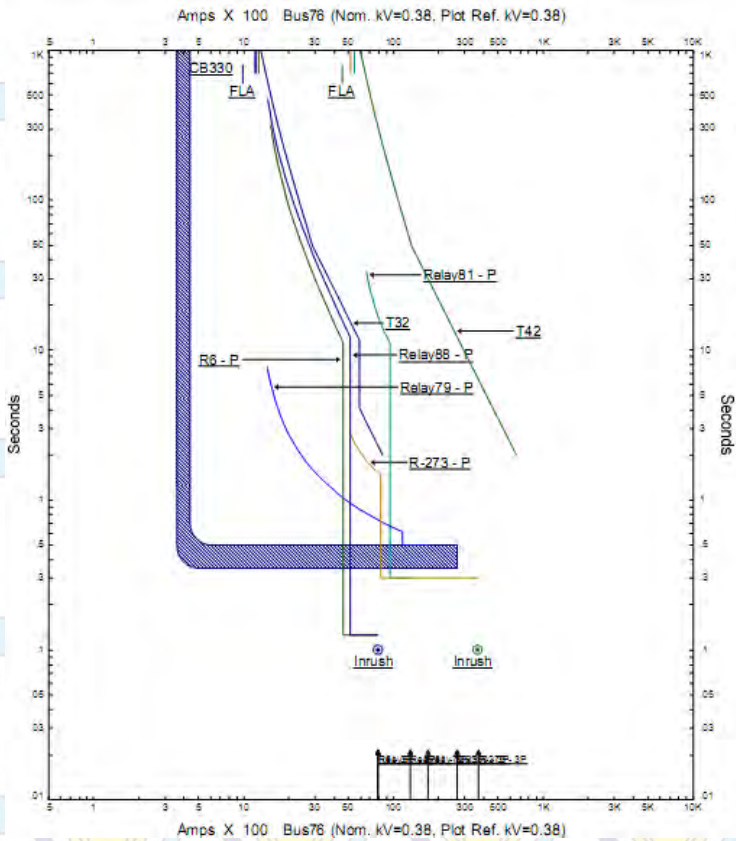
$$I_{set} > 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus 78}}$$

$$I_{set} > 0,8 \times 127$$

$$\text{dipilih } I_{set} = 10088 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{10088}{24} = 5,08$$

Setelah melakukan rekoordinasi, didapatkan kurva koordinasi sebagai berikut :



**Gambar 4.20** Kurva Koordinasi Resetting Tipikal 5



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa data sistem plant dan *resetting* yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan :

1. Hasil plot koordinasi kurva arus waktu *existing* Joint Operation Body (JOB) Pertamina-Petrochina East Java memperlihatkan bahwa banyak rele yang terjadi *miss-coordination* dan *overlapping* antara rele utama dan rele backup. Hal ini mengakibatkan selektifitas rele kurang baik dalam melokalisir gangguan pada sistem.
2. Setelah dilakukan analisis dan *resetting* peralatan pengaman, maka didapatkan bahwa data eksisting peralatan pengaman yang digunakan tidak terkoordinasi dengan baik. Pengaturan *low set* belum sesuai dengan *British Standard BS-142-1983*. Setelan waktu juga dipilih *instant* dimana tidak sesuai dengan *Standard IEEE 242*, maka diperlukan analisa ulang (*resetting*).
3. Akibat integrasi dengan jaringan PLN (Sikronisasi) menyebabkan kenaikan arus hubung singkat, analisis yang dilakukan pada Tugas Akhir ini yaitu dengan pemilihan tipikal yang mewakili masing-masing *line* dengan kondisi yang telah ditentukan.
4. Grading time yang digunakan untuk koordinasi kerja dari rele pengaman adalah sebesar 0.2 detik. Hal ini dianggap sesuai karena dengan Grading time sebesar 0.2 – 0,4 detik dapat memberikan waktu yang cukup kepada rele pengaman utama untuk selesai memutus gangguan terlebih dahulu. Sehingga kejadian trip secara bersamaan antara rele pengaman utama dan rele backup pada saat terjadi gangguan hubung singkat dapat dihindari dan koordinasi kerja antar rele dapat berjalan dengan baik. Pemilihan Grading time sebesar 0.2 dan 0.3 detik dianggap paling sesuai mengingat rele yang digunakan adalah rele digital. Pemilihan Grading time sebesar 0.2 detik sesuai dengan standar IEEE 242

## 5.2 Saran

Pada laporan Tugas Akhir ini, selama pengambilan data di lapangan dan melakukan simulasi dan studi koordinasi dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Karena adanya penyetelan rele yang kurang tepat, maka digunakan pergantian nilai *setting* rele pengaman dengan perhitungan manual yang disesuaikan manual rele sesuai dengan manufakturnya dan plot koordinasi kurva arus waktu. Hasil dari plot dapat memperlihatkan bahwa tidak ada rele yang terjadi *miss-coordination* dan *overlapping* antara rele utama dengan rele *backup*. Dapat dikatakan bahwa koordinasi kerja antar rele dapat berjalan dengan baik dan sesuai urutannya.
2. Karena hasil studi koordinasi proteksi sudah dirasa relatif benar dan aman untuk kemudian diaplikasikan dan digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pengaturansistem kelistrikan industri yang terkait. Dimana koordinasi antara rele utama dan *backup* sudah sesuai dengan *grading time* 0,2–0,4 detik *Standard IEEE 242*.



## LAMPIRAN

Tabel 1. Arus hubung singkat sebelum penambahan pembangkit dengan nilai maksimum 4 cycle.

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.mak 4 cylece (kA)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	13.581
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	6.707
3	B-IN TR-02-C	4.16	6.299
4	B-IN TR-MD-A	4.16	10.259
5	B-IN TR-MD-B	4.16	6.497
6	B-IN TR-MD-C	4.16	6.601
7	B-IN TR-MD-C1	13.8	1.336
8	B-IN TR-MD-E	0.48	82.996
9	B-OUT TR-02-C	4.16	9.211
10	B-OUT TR-30KVA	0.22	1.054
11	B-OUT TR-MD-B	13.8	1.258
12	B-OUT TR-MD-B1	0.48	21.880
13	B-OUT TR-MD-C1	0.48	15.295
14	B-OUT TR-MD-E	4.16	13.186
15	BB MCC 4-1	0.48	46.819
16	BB MCC 4-2	0.48	46.819
17	BB MCC 4-3	0.48	46.819
18	BB MCC 4-4	0.48	46.819

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.mak 4 cylce (kA)
19	BB MCC PAD C	0.48	15.295
20	BB MCC PAD-B	0.48	21.880
21	BB-SP-A	4.16	11.958
22	BB-SP-B	4.16	11.965
23	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	6.685
24	BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	6.699
25	Bus SRU	0.48	21.880
26	Bus-11.1	0.48	82.996
27	Bus-14-15	0.48	46.819
28	Bus-16-17'	0.48	46.819
29	Bus-19-20'	0.48	46.819
30	Bus-23-24'	0.48	46.819
31	Bus-25-26'	0.48	46.819
32	Bus327	4.16	11.978
33	Bus349	4.16	6.601
34	Bus350	4.16	6.707
35	LV-SWGR-01-3500A	0.48	82.996
36	LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	46.819
37	LV-SWGR-02-BB-"B"-5000A	0.48	46.819



No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.mak 4 cylce (kA)
38	MCC PAD A	0.48	35.850
39	MCC WTR-DSPSL	0.48	82.996
40	MCC5.2	0.48	37.947
41	MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A	4.16	6.707
42	MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	6.707
43	MV-SWGR-04 1250A	13.8	1.187
44	MV-SWGR-05 1250A	13.8	1.273
45	MV-SWGR-06-2500A	4.16	9.018
46	PROCESS PLANT	0.48	82.996
47	SRU BLOWER	0.48	82.996
48	SRU FILTER PRES/ETC	0.48	82.996
49	SRU SOLUTION	0.48	82.996
50	WTR DISPOSAL	4.16	13.581



*Halaman Ini Sengaja Di kosongkan*



## LAMPIRAN

Tabel 2. Arus hubung singkat sebelum penambahan pembangkit dengan nilai minimum 30 cycle.

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cylee (kA)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	9.620
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	5.787
3	B-IN TR-02-C	4.16	5.487
4	B-IN TR-MD-A	4.16	7.884
5	B-IN TR-MD-B	4.16	5.634
6	B-IN TR-MD-C	4.16	5.710
7	B-IN TR-MD-C1	13.8	1.209
8	B-IN TR-MD-E	0.48	59.767
9	B-OUT TR-02-C	4.16	7.890
10	B-OUT TR-30KVA	0.22	1.053
11	B-OUT TR-MD-B	13.8	1.140
12	B-OUT TR-MD-B1	0.48	20.372
13	B-OUT TR-MD-C1	0.48	14.630
14	B-OUT TR-MD-E	4.16	9.428
15	BB MCC 4-1	0.48	41.131
16	BB MCC 4-2	0.48	41.131
17	BB MCC 4-3	0.48	41.131

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cyle (kA)
18	BB MCC 4-4	0.48	41.131
19	BB MCC PAD C	0.48	14.630
20	BB MCC PAD-B	0.48	20.371
21	BB-SP-A	4.16	8.760
22	BB-SP-B	4.16	8.760
23	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	5.772
24	BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	5.782
25	Bus SRU	0.48	20.372
26	Bus-11.1	0.48	59.767
27	Bus-14-15	0.48	41.131
28	Bus-16-17'	0.48	41.131
29	Bus-19-20'	0.48	41.131
30	Bus-23-24'	0.48	41.131
31	Bus-25-26'	0.48	41.131
32	Bus327	4.16	8.760
33	Bus349	4.16	5.710
34	Bus350	4.16	5.787
35	LV-SWGR-01-3500A	0.48	59.767
36	LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	41.131
37	LV-SWGR-02-BB-"B"-5000A	0.48	41.131



No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cyle (kA)
38	MCC PAD A	0.48	31.553
39	MCC WTR-DSPSL	0.48	59.767
40	MCC5.2	0.48	31.617
41	MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A	4.16	5.787
42	MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	5.787
43	MV-SWGR-04 1250A	13.8	1.083
44	MV-SWGR-05 1250A	13.8	1.159
45	MV-SWGR-06-2500A	4.16	7.827
46	PROCESS PLANT	0.48	59.767
47	SRU BLOWER	0.48	59.767
48	SRU FILTER PRES/ETC	0.48	59.767
49	SRU SOLUTION	0.48	59.767
50	WTR DISPOSAL	4.16	9.620



*Halaman Ini Sengaja Di kosongkan*



## LAMPIRAN

Tabel 3. Arus hubung singkat setelah penambahan pembangkit dengan nilai maksimum 4 cycle.

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.mak 4 cylce (kA)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	15.271
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	14.629
3	AUX-LV-SWGR-02-5000A	0.48	72.605
4	B-IN TR-02-C	4.16	12.781
5	B-IN TR-MD-A	4.16	11.168
6	B-IN TR-MD-B	4.16	13.734
7	B-IN TR-MD-C	4.16	14.127
8	B-IN TR-MD-C1	13.8	2.081
9	B-IN TR-MD-E	0.48	87.671
10	B-OUT TR-02-C	4.16	9.382
11	B-OUT TR-30KVA	0.22	1.058
12	B-OUT TR-MD-B	13.8	2.103
13	B-OUT TR-MD-B1	0.48	33.981
14	B-OUT TR-MD-C1	0.48	18.133
15	B-OUT TR-MD-E	4.16	14.717
16	BB MCC 4-1	0.48	72.605
17	BB MCC 4-2	0.48	72.605

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.mak 4 cylce (kA)
19	BB MCC 4-3	0.48	72.605
20	BB MCC 4-4	0.48	72.605
21	BB MCC PAD C	0.48	18.133
22	BB MCC PAD-B	0.48	33.981
23	BB-SP-A	4.16	13.240
24	BB-SP-B	4.16	13.231
25	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	14.526
26	BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	14.563
27	Bus SRU	0.48	33.981
28	Bus-11.1	0.48	87.671
29	Bus-14-15	0.48	72.605
30	Bus-16-17'	0.48	72.605
31	Bus-19-20'	0.48	72.605
32	Bus-23-24'	0.48	72.605
33	Bus-25-26'	0.48	72.605
34	Bus327	4.16	13.245
35	Bus349	4.16	14.851
36	Bus350	4.16	14.628
37	Bus357	4.16	9.382



No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.mak 4 cylce (kA)
38	Bus358	4.16	9.329
39	Bus359	4.16	13.937
40	Bus360	4.16	13.937
41	Bus361	4.16	15.153
42	LV-SWGR-01-3500A	0.48	87.671
43	LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	72.605
44	LV-SWGR-02-BB-"B"-5000A	0.48	72.605
45	MCC PAD A	0.48	37.222
46	MCC WTR-DSPSL	0.48	39.375
47	MCC5.2	0.48	39.375
48	MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A	4.16	14.629
49	MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	14.629
50	MV-SWGR-04 1250A	13.8	1.940
51	MV-SWGR-05 1250A	13.8	19.929
52	MV-SWGR-06-2500A	4.16	9.329
53	PROCESS PLANT	0.48	87.671
54	SRU BLOWER	0.48	87.671
55	SRU FILTER PRES/ETC	0.48	87.671
56	SRU SOLUTION	0.48	87.671



No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.mak 4 cylce (kA)
57	WTR DISPOSAL	4.16	15.271



## LAMPIRAN

Tabel 4. Arus hubung singkat setelah penambahan pembangkit dengan nilai minimum 30 cycle.

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cyle (kA)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	11.37
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	11.090
3	AUX-LV-SWGR-02-5000A	0.48	62.849
4	B-IN TR-02-C	4.16	10.031
5	B-IN TR-MD-A	4.16	9.002
6	B-IN TR-MD-B	4.16	10.601
7	B-IN TR-MD-C	4.16	10.809
8	B-IN TR-MD-C1	13.8	1.808
9	B-IN TR-MD-E	0.48	68.246
10	B-OUT TR-02-C	4.16	8.396
11	B-OUT TR-30KVA	0.22	1.057
12	B-OUT TR-MD-B	13.8	1.839
13	B-OUT TR-MD-B1	0.48	31.358
14	B-OUT TR-MD-C1	0.48	17.276
15	B-OUT TR-MD-E	4.16	11.088
16	BB MCC 4-1	0.48	62.849

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cyle (kA)
17	BB MCC 4-2	0.48	62.849
19	BB MCC 4-3	0.48	62.849
20	BB MCC 4-4	0.48	62.849
21	BB MCC PAD C	0.48	17.276
22	BB MCC PAD-B	0.48	31.358
23	BB-SP-A	4.16	10.180
24	BB-SP-B	4.16	10.180
25	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	11.032
26	BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	11.058
27	Bus SRU	0.48	31.35
28	Bus-11.1	0.48	68.246
29	Bus-14-15	0.48	62.849
30	Bus-16-17'	0.48	62.849
31	Bus-19-20'	0.48	62.849
32	Bus-23-24'	0.48	62.849
33	Bus-25-26'	0.48	62.849
34	Bus327	4.16	10.180
35	Bus349	4.16	11.185



No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cyle (kA)
36	Bus350	4.16	11.089
37	Bus357	4.16	8.396
38	Bus358	4.16	8.369
39	Bus359	4.16	10.780
40	Bus360	4.16	10.780
41	Bus361	4.16	11.309
42	LV-SWGR-01-3500A	0.48	68.246
43	LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	62.849
44	LV-SWGR-02-BB-"B"-5000A	0.48	62.849
45	MCC PAD A	0.48	33.699
46	MCC WTR-DSPSL	0.48	33.786
47	MCC5.2	0.48	33.786
48	MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A	4.16	11.090
49	MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	11.090
50	MV-SWGR-04 1250A	13.8	1.722
51	MV-SWGR-05 1250A	13.8	1.697

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cyle (kA)
52	MV-SWGR-06-2500A	4.16	8.369
53	PROCESS PLANT	0.48	68.246
54	SRU BLOWER	0.48	68.246
55	SRU FILTER PRES/ETC	0.48	68.246
56	SRU SOLUTION	0.48	68.246
57	WTR DISPOSAL	4.16	11.372



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Flowchart</i> Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir .....	4
Gambar 2.1	Gelombang Arus Hubung Singkat .....	13
Gambar 2.2	Skema Konsep Kerja Rele Pengaman.....	15
Gambar 2.3	Batas ketelitian <i>Setting</i> arus berdasarkan BS 142-198317	
Gambar 2.4	Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu ( <i>definite time</i> ) .....	18
Gambar 2.5	karakteristik <i>standart inverse, very inverse dan extremely invers</i> . .....	19
Gambar 2.6	Karakteristik waktu IDMT Rele .....	21
Gambar 2.7	Karakteristik rele arus lebih instan .....	22
Gambar 2.8	Kombinasi IDMT dengan arus lebih waktu instan .....	22
Gambar 2.9	Arus lebih pengaman trafo .....	23
Gambar 2.10	(a) Rangkaian <i>zero sequence current filte</i> . (b) Hubung singkat satu fasa ke tanah.....	24
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> pada Sistem Kelistrikan JOB P-PEJ Tuban .....	26
Gambar 4.1a	Sistem Kelistrikan JOB P-PEJ CPA .....	31
Gambar 4.1b	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 1.....	36
Gambar 4.2	Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1 .....	38
Gambar 4.3	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1 .....	39
Gambar 4.4	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 2.....	40
Gambar 4.5	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2 .....	42
Gambar 4.6	Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 3.....	43
Gambar 4.7	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3 .....	46
Gambar 4.8	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 4a .....	47
Gambar 4.9	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4a.....	48
Gambar 4.10	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 4b.....	49
Gambar 4.11	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 4b .....	51
Gambar 4.12	Sistem Pengaman JOB P-PEJ Tipikal 5 .....	52
Gambar 4.13	Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 5 .....	54
Gambar 4.14	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 1 .....	58

Gambar 4.15	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 2 .....	63
Gambar 4.16	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 3 .....	69
Gambar 4.17	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 4a .....	73
Gambar 4.18	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 4b .....	75
Gambar 4.19	<i>Resetting</i> JOB P-PEJ Tipikal 5 .....	76
Gambar 4.20	Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> Tipikal 5 .....	78



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [2] Lazar irwin “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [3] Gurevich, Vladimir, “*Electric Relays, Principle and application*”, CRCPress, USA, Ch. 10, 2006
- [4] Instruction Manual “*Multi-Functional Protective Relay with Bay Controller 7SJ62 V4.0/V4.1*” Siemens. 1999
- [5] Préve, Christophe, “*Protection for Electrical Network*”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
- [6] IEEE std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Cordination of Industrial and Commercial Power System*”The institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001.
- [7] Service Manual Type MCGG “*Overcurrent Relays for Phase and Earth Fault*”Alstom
- [8] Protective Relay Setting Proposal “*2 x 35 MW TonasaPower Plant*” Siemens. 2011



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Achmad Marzuki Yahya. Penulis lahir di Kediri 19 April 1991, anak kedua dari dua bersaudara. Setelah enam tahun menempuh pendidikan dasar di SD Negeri Mojoroto 3 Kota Kediri, penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 1 Kota Kediri, dan lulus tahun 2006. Penulis lalu melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Kota Kediri.

Pada tahun 2009, penulis melanjutkan studi di Jurusan D3 Teknik Telekomunikasi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS). Dan sekarang penulis melanjutkan studi sebagai mahasiswa Lintas Jalur (LJ Genap 2012) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Teknik Elektro dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Penulis dapat dihubungi melalui *email* : [yahya.yanuaritb@gmail.com](mailto:yahya.yanuaritb@gmail.com)



*Halaman ini sengaja dikosongkan*